

# Основы теории надежности и диагностики



Кафедра «Сервис и техническая эксплуатация  
автотранспортных средств»

**Конспект лекций**

**Автор  
Рункевич Ю.П.**

## Аннотация

Лекционный курс предназначен для студентов очной формы обучения по специальности 190702 «Организация и безопасность движения».

Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов системы научных и профессиональных знаний и навыков в области оценки надежности автотранспортных средств, безопасности в системе «водитель – автомобиль - дорога - среда» и по применению средств диагностики для поддержания технического состояния автотранспортных средств, для прогноза надежности автомобиля.

Содержание курса:

надежность как основной показатель качества автомобиля;

связь показателей надежности с безопасностью движения;

анализ транспортных происшествий, возникающих вследствие недостатков технического состояния транспортных средств;

место диагностики в системе поддержания технического состояния транспорта и обеспечения безопасности движения;

эксплуатационные свойства и безопасность конструкций транспортных средств (ТС);

комплексный подход к изучению безопасности ТС, (функционирование комплекса “автомобиль-водитель-дорога-среда” в условиях ДТП).

## Автор

**Рункевич Юрий Павлович**

**Кандидат технических наук, доцент**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Надежность как основной показатель качества Автомобиля.....	7
2 Основные понятия, термины и определения теории надежности .....	10
2.1 ОБЪЕКТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	10
2.2 ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА .....	11
2.3 ПЕРЕХОД ОБЪЕКТА В ИНЫЕ СОСТОЯНИЯ. ОТКАЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .	12
2.4 ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ.....	12
2.5 КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ .....	13
2.6 КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ .....	18
2.7 ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ.....	19
2.8 ПОКАЗАТЕЛИ СОХРАНЯЕМОСТИ.....	19
2.9 ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ.....	19
2.10 КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ .....	20
3 Сбор, обработка и анализ эксплуатационных данных о надежности объекта ....	23
3.1 ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ СБОРА И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ .....	23
3.2 ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЕГО ПАРАМЕТРОВ .....	24
3.3 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН .....	27
3.3.1 Экспоненциальное (показательное) распределение.....	28
3.3.2 Нормальное распределение .....	29
3.3.3 Логарифмически-нормальное распределение .....	31
3.3.4 Распределение Вейбулла .....	31
3.4 ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ.....	32
4 Надежность сложных систем.....	33
4.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ .....	33
4.2 СИСТЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ.....	33

4.3 СИСТЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ И СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ .....	34
4.4 МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ.....	35
5 Физическая сущность изменения надежности конструктивных элементов автомобилей при их эксплуатации .....	38
5.1 ПРИЧИНЫ ПОТЕРИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН.....	38
5.2 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ.....	38
5.3 СТАРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ .....	39
5.4 ОТКАЗЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ПРОЧНОСТИ.....	39
5.5 ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ОТКАЗЫ.....	40
5.5 ОТКАЗЫ ПО ПАРАМЕТРАМ КОРРОЗИИ.....	43
5.6 ДИАГРАММА ИЗНАШИВАНИЯ .....	43
6 Связь показателей надежности с безопасностью движения .....	45
7 Анализ ДТП, связанных с техническим состоянием транспортных средств .....	47
7.1 МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ.....	47
7.2 ПОНЯТИЕ, ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ПРИЧИНЫ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ.....	47
7.3 ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОИСШЕСТВИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕХНИЧЕСКИМИ НЕИСПРАВНОСТЯМИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	50
8. Диагностика в системе поддержания технического состояния транспорта и обеспечения безопасности движения.....	52
8.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДИАГНОСТИКЕ .....	52
8.2 ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В СИСТЕМЕ ТО И РЕМОНТА.....	54
8.3 ВИДЫ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ .....	58
8.4 СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.....	58
8.5 ДИАГНОСТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ .....	60
8.5.1 Диагностика тормозной системы.....	60
8.5.2 Диагностика приборов освещения .....	64
8.5.3 Диагностика подвески и рулевого управления .....	69
8.5.4 Диагностика шин и колес.....	73

Основы теории надежности и диагностики

8.5.5	Определение светопропускания стекол .....	75
8.5.6	Диагностирование двигателя и его систем.....	78
8.5.7	Диагностирование установки управляемых колес.....	86
9	Эксплуатационные свойства и безопасность конструкций транспортных средств .....	94
9.1	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	94
9.2	КОНСТРУКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	94
9.2.1	Активная безопасность транспортных средств.....	94
9.2.2	Пассивная безопасность автотранспортных средств .....	106
9.2.3	Послеаварийная безопасность транспортных средств .....	111
9.2.4	Экологическая безопасность транспортных средств .....	112
10	Комплексная безопасность транспортных средств. Функционирование комплекса АВДС в условиях ДТП.....	115
10.1	ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ АВДС.....	115
10.1.1	Общие сведения .....	115
10.1.2	Факторы, связанные с человеком.....	117
10.1.3	Факторы, связанные с транспортным средством .....	123
10.1.4	Факторы, связанные с дорогой .....	124
10.1.5	Факторы, связанные с внешней средой .....	126

## ВВЕДЕНИЕ

Теория надежности и техническая диагностика – разные, но в то же время тесно связанные друг с другом области знаний.

**Теория надежности** – это наука, изучающая закономерности отказов технических систем, и располагает методами, позволяющими на основе анализа статистических данных по совокупности одинаковых объектов определять вероятность возникновения отказов объектов в процессе их эксплуатации.

Долгое время надежность не измеряли количественно, что затрудняло ее эффективную оценку. Для оценки надежности использовались такие понятия как «высокая надежность», «низкая надежность» и другие качественные определения. Установление количественных показателей надежности и способов их измерения и расчета положило начало научным методам в исследовании надежности. На первых этапах развития теории надежности основное внимание было сосредоточено на сборе и обработке статистической информации об отказах изделий. Далее стали уделять больше внимания причинам отказов и их связям с конструкторско-технологическими факторами, контролю надежности на этапе проектирования и изготовления изделия.

Отработка на надежность серийно выпускаемых изделий включает в себя:

- 1) организацию сбора информации о надежности изделия в процессе эксплуатации (рекламации потребителей, данных сервисных служб и т.д.);
- 2) анализ информации в целях выявления «слабых звеньев» изделия, лимитирующих его надежность; причин отказов и оценки частоты повторяемости каждого из них; технологических параметров, оказывающих решающее влияние на надежность изделия и его комплектующих;
- 3) разработку мероприятий по устранению причин наиболее часто повторяющихся отказов.

Термин «Диагностика» в переводе с греческого означает «Способность распознавать». **Техническая диагностика** – это наука о методах и средствах определения технического состояния изделия и прогнозирования ресурса его работы без разборки изделия.

Диагностика включает в себя:

- контроль технического состояния автомобиля;
- прогнозирование ресурса его безотказной работы;
- составление заключения о необходимых технических воздействиях.

*Контроль* состоит в определении, на основе диагностических сигналов, показателей технического состояния автомобиля и их сравнении с нормативами.

*Прогнозирование ресурса* – это определение возможного пробега автомобиля до достижения им предельного состояния, обусловленного технико-экономической целесообразностью его дальнейшего использования.

*Заключение* включает в себя перечень необходимых работ как ремонтного (по результатам контроля), так и профилактического (по результатам прогнозирования ресурса) характера.

В перспективе, по мере развития методов и средств диагностики, объем ремонтных работ по фактам отказов будет снижаться, и диагностика займет ведущее место в процессе технического обслуживания автотранспортных средств.

## 1 Надежность как основной показатель качества Автомобиля

Транспорт является одной из важнейших и крупнейших отраслей общественного производства. Это предъявляет серьезные и многоплановые требования к надежности транспортных средств и функционирования дорожного движения, являющихся сложной динамической системой взаимодействия транспортных и пешеходных потоков, дорожной инфраструктуры, в совокупности составляющих комплекс «автомобиль-водитель-дорога-среда» (АВДС), рис. 1.1.

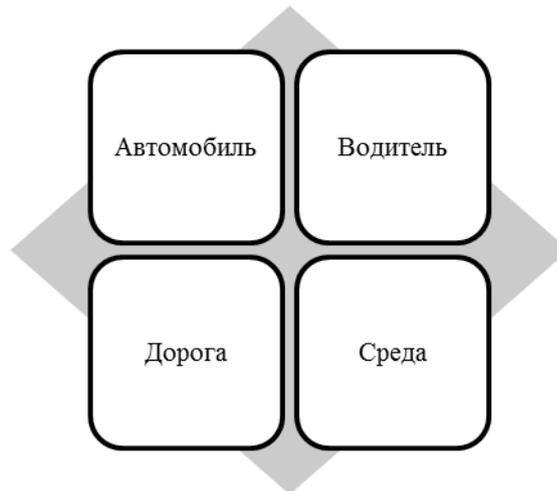


Рисунок 1.1 - Комплекс АВДС

Сложность управления таким комплексом заключается в обеспечении надежности функционирования каждого отдельного элемента, входящего в систему АВДС:

- автомобиль - его конструктивные особенности и техническое состояние;
- водитель - его квалификация, психофизиологические особенности (острота зрения, цветоразличение, глазомер, реакция, внимание, эмоциональная устройчивость, т. е. способность сохранять спокойствие в критических ситуациях), дисциплинированность, опыт и мастерство вождения автомобиля;
- дорога - ширина проезжей части, состояние дорожного покрытия, видимость, оборудования техническими средствами регулирования (светофорами, дорожными знаками, ограждениями, разметкой), состояние содержания дороги, особенно в зимнее время, и др.;

- среда - это совокупность всех элементов, находящихся вне транспортного средства и (или) воздействующих на него. Это дождь, туман, снег, грязь на дороге, яркие вспышки света, освещение, шумы и т.п.

Качество автомобиля оценивается различным показателями: показателями надежности, технологичности, экономичности, унификации и др. Надежность является одним из основных свойств изделия и во многом определяет его качество.

Международный стандарт ISO 8402-86 дает следующее определение понятию «качество»: **качество** – это совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. В нашем случае под качеством следует понимать совокупность эксплуатационных свойств автомобиля, определяющих степень его пригодности к выполнению заданных функций в течение нормативного срока эксплуатации.

Для численной оценки уровня качества автомобиля применяют набор выходных параметров. **Выходные параметры автомобиля** – это числовые показатели его технических и иных характеристик, которые определяют возможности автомобиля по выполнению заданных функций. Например: максимальная скорость движения, время разгона до определенного уровня, грузоподъемность, габаритные размеры, масса, пассажироместимость, экономичность, плавность хода, уровень шума и т.д. Часть этих показателей в процессе эксплуатации остаются неизменными (габаритные размеры, масса, пассажироместимость). Но показатели большинства свойств, определяющих качество автомобиля в процессе эксплуатации, за счет физического износа деталей со временем изменяются (максимальная скорость движения, динамичность, экономичность, мощность двигателя, грузоподъемность, шумность и др.). Эти свойства можно поддерживать и восстанавливать, т.е. управлять ими при условии знания закономерностей их изменения.

Исследование надежности нацелено на определение закономерностей изменения с течением времени показателей качества изделия, на разработку методов обеспечивающих необходимую продолжительность работы технических устройств с наименьшими затратами времени и средств.

**В связке с понятием «качество» надежность** – это свойство автомобиля сохранять свои показатели качества в определенных пределах в течение всего периода ее эксплуатации.

Изменения показателей качества автомобиля во времени могут быть абсолютными и относительными.

- **Абсолютное изменение качества** связано с воздействующими на автомобиль процессами, изменяющими свойства и состояния материалов, из которых он изготовлен (физическое старение).

- **Относительное изменение качества** автомобиля связано с появлением новых автомобилей с более совершенными характеристиками. И показатели данного автомобиля по сравнению с аналогичными показателями новых автомобилей будут более низкими (моральное старение).

## Основы теории надежности и диагностики

Наука о надежности изучает абсолютное изменение качества.

Надежность автомобиля закладывается и поддерживается на всех этапах, начиная с этапа проектирования, и далее - в процессе изготовления и эксплуатации.

- Требуемый уровень надежности **на этапе проектирования** обеспечивают за счет оптимизации конструкции и применяемых материалов с учетом требований к технологичности конструкции, защите от вредных воздействий в процессе эксплуатации, ремонтпригодности и удобства техобслуживания.

- **В процессе изготовления** надежность автомобиля обеспечивается технологическими процессами изготовления деталей, методами контроля качества выпускаемой продукции, испытаниями, и др. показателями.

- **При эксплуатации** надежность автомобиля определяется способом и условиями эксплуатации, системой ее диагностики и ремонта, качеством техобслуживания и другими эксплуатационными факторами.

Уровень надежности автомобиля должен быть таким, чтобы при его эксплуатации в любых оговоренных технических условиях ситуациях не возникали отказы. Желательно, чтобы автомобиль имел запас надежности для повышения сопротивляемости экстремальным воздействиям, когда автомобиль попадает в условия, не предусмотренные техническими условиями его эксплуатации. Кроме того, запас надежности необходим для обеспечения работоспособности автомобиля при его износе. Чем выше запас надежности, тем дольше автомобиль будет находиться в работоспособном состоянии.

Недостаточный уровень надежности приводит к нарушениям работоспособности, основными из которых являются:

- **прекращение функционирования** изделия в результате поломки, деформации, заклинивания механизмов, разрушения конструкции и др.;

- **снижение эффективности** работы изделия при сохранении его работоспособности.

Контрольные вопросы

1. Какие закономерности изучает наука «Теория надежности»?
2. Что включает в себя отработка на надежность серийно выпускаемых изделий?
3. Определение понятия «Техническая диагностика».
4. Назовите три основных этапа диагностики.
5. Составляющие элементы комплекса «автомобиль-водитель-дорога-среда».
6. Дайте определение качества по стандарту ISO 8402-86 и определение качества как совокупность эксплуатационных свойств автомобиля.
7. Выходные параметры автомобиля как критерии оценки его качества.
8. Понятие «надежность» в связке с понятием «качество». Абсолютное и относительное изменения качества.
9. На каких этапах закладывается и поддерживается надежность автомобиля?

10. К каким двум основным нарушениям работоспособности приводит недостаточный уровень надежности автомобиля?

## 2 Основные понятия, термины и определения теории надежности

Основные понятия, термины и определения, применяемые в теории надежности, приведены в государственном стандарте «Надежность в технике. Термины и определения».

### 2.1 Объекты теории надежности и классификация технических систем

Основными объектами теории надежности являются:

- **изделие** – любая функциональная единица, которую можно рассматривать в отдельности. **Восстанавливаемое изделие**: изделие, которое при данных условиях после отказа может быть возвращено в состояние, в котором оно может выполнять требуемую функцию. **Невосстанавливаемое изделие**: изделие, которое при данных условиях после отказа не может быть возвращено в состояние, в котором оно способно выполнить требуемую функцию;
- **элемент** – простейшая составная часть изделия;
- **система** – совокупность элементов с указанием связей между ними и цели функционирования.

Технические системы могут быть:

- невосстанавливаемыми и восстанавливаемыми;
- резервированными и нерезервированными.

Техническую систему называют **невосстанавливаемой** (*неремонтируемой*), если ее отказ приводит к неустранимым последствиям. Работа после отказа невосстанавливаемой системы невозможна или нецелесообразна (например: подшипники, тормозные колодки, лампочки и т.д.).

Под **восстанавливаемой** (*ремонтируемой*) понимают систему, которая может продолжить выполнение своих функций после устранения отказа в результате проведения восстановительных работ (например: двигатели, коробки передач и т.д.). При этом под восстановлением системы понимают не только ремонт, но и замену элементов.

**Резервирование** – способ повышения надежности системы путем включения в систему резервных (дублирующих) элементов, способных в случае отказа основного элемента выполнять его функцию (например: дублирование привода тормозов).

## 2.2 Основные состояния объекта

В процессе эксплуатации объект может находиться в одном из следующих состояний:



Рисунок 2.1 - Состояния объекта

**Исправное состояние** – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

**Неисправное состояние** – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской документации. При этом различают неисправности не приводящие к отказам (нарушение лакокрасочного покрытия, вмятины корпуса и т.д.) и неисправности, ведущие к возникновению отказа (трещина в несущей раме, течь радиатора, поломка двигателя, трансмиссии и т.д.).

**Работоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции (производительность, мощность, тягово-скоростные характеристики и т.д.), соответствует всем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

**Неработоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

**Предельное состояние** объекта – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Автомобиль, достигший предельного состояния, подлежит капитальному ремонту или списанию. Критерии предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект.

## 2.3 Переход объекта в иные состояния. Отказ технической системы

Переход объекта из работоспособного состояния в неработоспособное осуществляется при наступлении такого события, как отказ.

**Отказ** – потеря способности изделия выполнить требуемую функцию.

**Критериями отказа** являются признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Основные категории отказов:

- *полный отказ* - отказ, характеризующийся потерей способности изделия выполнять все требуемые функции;
- *частичный отказ* - отказ, характеризующийся потерей способности изделия выполнять некоторые, не все требуемые функции. Частичный отказ является событием, которое приводит к состоянию частичной неисправности;
- *независимый отказ* - отказ, не вызванный прямо или косвенно другим отказом или неисправностью;
- *зависимый отказ* - отказ, вызванный другим отказом или неисправностью;
- *Внезапный отказ* - отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта;
- *Постепенный отказ* - отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

**Повреждение** - приемлемая для пользователя неполная способность изделия выполнить требуемую функцию.

**Сбой** - самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Переход объекта из неработоспособного в работоспособное состояние **восстановлением**.

## 2.4 Показатели надежности

**Надежность** - 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, хранения и транспортирования.

**Показатели надежности** – количественная характеристика одного или нескольких свойств надежности объекта. Значения показателей надежности могут быть нормативными и фактическими, и определяться:

- расчетным методом (расчетный показатель);
- по данным испытаний (экспериментальный показатель);
- по данным эксплуатации (эксплуатационный показатель);
- путем экстраполяции (экстраполированный показатель).

Показатели надежности могут представляться в двух формах: вероятностной и статистической. Вероятностная форма применяется при аналитических расчетах надежности, статистическая – при экспериментальном исследовании надежности. Нормативные значения показателей надежности устанавливаются технической документацией.

Показатели надежности подразделяются на 4 группы: показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Классификация свойств надежности машин и их элементов

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

**Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Ремонтпригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

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

Вышеперечисленные показатели являются *единичными показателями*. Кроме того, существуют *комплексные показатели надежности*, характеризующие несколько свойств, составляющих надежность объекта.

## 2.5 Критерии надежности невозстанавливаемых систем

Основными критериями надежности невозстанавливаемых систем являются:

- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- гамма-процентная наработка до отказа;
- средняя наработка до отказа  $T_{cp}$ ;
- плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)

$f(t)$ ;

- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

**Вероятностью безотказной работы  $P(t)$**  называется вероятность того, что в пределах заданной наработки (продолжительность или объем работы объекта) отказа не возникает.

Функцию  $P(t)$  часто называют **функцией надежности**. Вероятность безотказной работы  $P(t)$  характеризует надежность невосстанавливаемых объектов или восстанавливаемых объектов до первого отказа.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  является убывающей функцией времени, имеющей следующие свойства:  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,  $P(0) = 1$ ,  $P(+\infty) = 0$ , рис. 2.3.

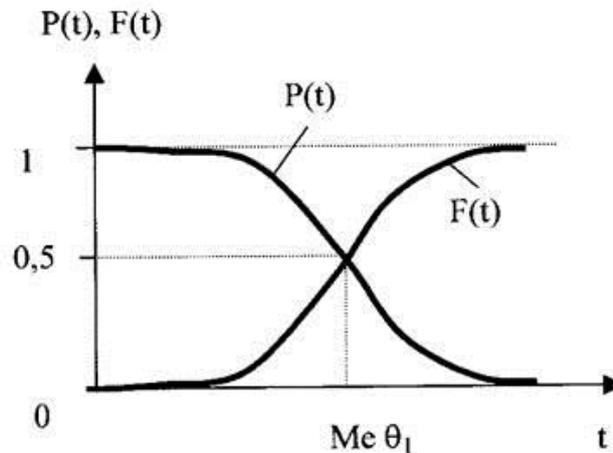


Рисунок 2.3 - Вероятности безотказной работы и отказа

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  можно связать с вероятностью отказа  $F(t)$  следующим соотношением:  $P(t) + F(t) = 1$ ;  $P(t) = 1 - F(t)$ .

Исходя из статистических данных об отказах, полученных из эксперимента или эксплуатации, вероятность безотказной работы  $P(t)$  определяется следующей статистической оценкой:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N} = \frac{N - n(t)}{N},$$

где  $N$  - общее число образцов, находящихся на испытании;  $N(t)$  - число исправно работающих образцов в момент времени  $t$ ;  $n(t)$  - число отказавших образцов в течение времени  $t$ .

Пример. В течение месяца наблюдение велось за 10 автомобилями (объектами). За период наблюдения отказал 1 автомобиль. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа.

Решение.

$$N = 10; N(t) = 9; n(t) = 1. \quad P(t) = \frac{N(t)}{N} = \frac{N - n(t)}{N}, \quad P(t) + F(t) = 1$$

$$P(t) = 10 - 1/10 = 0,9 \text{ (или 90 \%);}$$

$$F(t) = 1 - 0,9 = 0,1 \text{ (или 10 \%).}$$

**Плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)  $f(t)$**  – это плотность распределения случайной величины. Характеризует надежность техники в данный момент времени  $t$  (точечная характеристика). Исходя из статистических данных об отказах, полученных из эксперимента или эксплуатации, частота отказов вычисляется по формуле:

$$f(t) = \frac{n}{N \Delta t},$$

где  $n$  – число отказавших образцов в промежуток времени  $\Delta t$ ;  $N$  – число испытываемых образцов;  $\Delta t$  – промежуток времени.

**Интенсивность отказов  $\lambda(t)$**  определяется как отношение плотности распределения  $f(t)$  к вероятности безотказной работы объекта  $P(t)$  или как отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу образцов, исправно работавших в промежутке времени  $\Delta t$ :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{n}{N_{\text{ср}}(t) \Delta t},$$

где  $n$  – число отказов за период времени  $\Delta t$ ;  $N_{\text{ср}}(t)$  – среднее число работоспособных объектов в момент времени  $t$ ;  $\Delta t$  – период времени.

Интенсивность отказов характеризует долю изделий, отказывающих в промежуток времени  $\Delta t$ , отнесенную к числу изделий, работоспособных в момент времени  $t$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  изменяет свое значение в периоды приработки и старения машин. Изменение интенсивности отказов большого числа объектов описывается U-образной кривой, рис. 2.4. Время работы каждого объекта можно условно разделить на три характерных периода: 1 - период приработки; 2 - период нормальной эксплуатации; 3 - период старения.

Период приработки объекта имеет повышенную интенсивность отказов, вызванную приработкой, дефектами производства, монтажа и наладки. С этим периодом связывают сроки гарантийного обслуживания. Возрастание интенсивности отказов наблюдается также в период старения объекта, что вызвано износом, усталостными процессами, старением элементов и иными причинами, связанными с длительностью эксплуатации объекта.

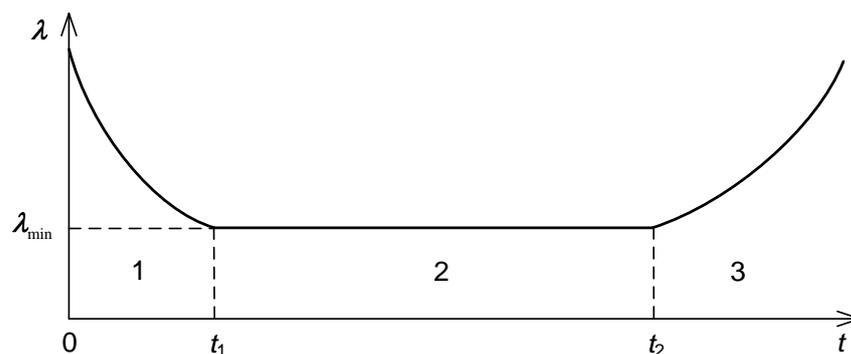


Рисунок 2.4 - U-образная кривая интенсивности отказов

**Средняя наработка до отказа**  $T_{cp}$  является матожиданием наработки объекта до первого отказа. По статистическим данным определяется из выражения:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где  $N$  - общее число образцов, находящихся на испытании;  $t_i$  – время безотказной работы  $i$ –го образца.

**Гамма-процентная наработка до отказа** – наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

*Пример.* На испытании находилось  $N = 100$  автомобилей. Данные их испытаний приведены в табл. 2.1.

Данные испытаний

Таблица 2.1

Параметр	Интервал, ч							
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800
Промежуток времени $\Delta t$ , ч.	100	100	100	100	100	100	100	100
Число отказавших автомобилей $n(t)$	1	2	1	3	2	2	1	3
Результаты вычислений								
$P(t)$	0,99	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,85
$f(t) \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	1	2	1	3	2	2	1	3
$\lambda(t) \cdot 10^4, \text{ч}^{-1}$	1,01	2,03	1,04	3,17	2,20	2,22	1,12	3,47

**Задача:** вычислить показатели надежности: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , частоту отказов  $f(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , ср. время безотказной работы  $T_{cp}$ .

**Решение:**

1. Определим вероятность безотказной работы  $P(t)$ .

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}$$

Предположим, что отказы происходили середине временных интервалов, т.е.  $t = 50, 150, 250$  и т.д. В первом интервале времени произошел 1 отказ ( $n(t)=1$ ); во втором – 2, а всего с начала отсчета – 3; в третьем – 1, а всего с начала отсчета – 4; и т.д.

$$P(50) = (100 - 1)/100 = 0.99$$

$$P(150) = (100 - 3)/100 = 0.97$$

$$P(250) = (100 - 4)/100 = 0.96 \text{ и т.д.}$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.1.

2. Определим частоту отказов  $f(t)$ .

Основы теории надежности и диагностики

$$f(t) = \frac{n}{N \Delta t}$$

$$f(50) = 1/100 \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$$

$$f(150) = 2/100 \cdot 100 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$$

$$f(250) = 1/100 \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \text{ и т.д.}$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.1.

В данном случае число отказов на промежутке  $\Delta t$  не суммируется с числами отказов на предшествующих участках, т.к. функция  $f(t)$  является точечной.

3. Определим интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

$$\lambda(t) = \frac{n}{N_{\text{ср}}(t) \Delta t}$$

На первом участке произошел 1 отказ ( $n = 1$ ), при этом в начале участка число исправных автомобилей  $N(0) = 100$ , а в конце участка  $N(100) = N(0) - 1 = 99$ .

$$N_{\text{ср}} = (N(0) + N(100))/2 = (100 + 99)/2$$

$$\Delta t = 100$$

$$\lambda(50) = 1 / ((100 + 99)/2 \cdot 100) = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$$

На втором участке произошли 2 отказа ( $n = 2$ ), при этом в начале участка число исправных автомобилей  $N(100) = 99$ , а в конце участка  $N(200) = N(100) - 2 = 97$ .

$$N_{\text{ср}} = (N(100) + N(200))/2 = (99 + 97)/2$$

$$\Delta t = 100$$

$$\lambda(150) = 2 / ((99 + 97)/2 \cdot 100) = 2,03 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \text{ и т.д.}$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.1.

4. Определим среднее время безотказной работы  $T_{\text{ср}}$ .

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

В данном случае  $n=15$  – число отказавших автомобилей.

$t_i = n(t)$  \* время середины временного интервала, т.е.:

$$t(50) = 1 \cdot 50$$

$$t(150) = 2 \cdot 150$$

$$t(250) = 1 \cdot 250$$

$$t(350) = 3 \cdot 350$$

и т.д.

Просуммировав все значения  $t_i$  и разделив на 15 получим  $T_{\text{ср}} = 427$  ч.

Пример. На 5 автомобилях в течение года наблюдалось следующее количество отказов: 1, 3, 2, 2, 1. При этом наработка (пробег) автомобилей за данный период составила соответственно 18000, 20000, 21000, 25000, 16000 км. Определить среднюю наработку на отказ за год.

Решение: число отказавших автомобилей  $n = 1+3+2+2+1=9$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 1/9(18000 + 20000 + 21000 + 25000 + 16000) = 11111 \text{ км.}$$

Пример: В начальный момент наблюдения все 4 колеса автомобиля были работоспособны. Через 10 тыс. км. одна покрышка изнашивается без возможности ее восстановления. Определить интенсивность отказов колес автомобиля.

Решение:

$n = 4 - 3 = 1$  - число отказов за период (через 10 тыс. км.);

$N_{ср}(t) = 4$  – ср. число работоспособных объектов в момент времени  $t$

$\Delta t = 10$  (тыс. км.)

$$\lambda(t) = \frac{n}{N_{ср}(t) \Delta t} = 1/4 * 10 = 0,025 \text{ отказов/тыс. км.}$$

## 2.6 Критерии надежности восстанавливаемых систем

**Средняя наработка на отказ** определяется отношением суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

**Среднее время восстановления** определяется отношением среднего суммарного времени восстановления к среднему числу восстановлений при длительной работе объекта.

**Параметр потока отказов  $\omega(t)$**  – отношение математического ожидания числа отказов за наработку к значению этой наработки:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N n_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N n_i(t)}{N \Delta t},$$

где:  $n_i(t)$  - число отказов  $i$ -го объекта за наработку;  $\Delta t$  - промежуток времени;  $N$  – число наблюдаемых объектов.

Пример: В течение месяца наблюдались 5 автомобилей. В начальный момент времени 1 автомобиль был неработоспособен (отказ). За 200 часов наблюдения были зафиксированы отказы еще 2 автомобилей.

Определить параметр потока отказов  $\omega(t)$ .

Решение:

$N = 5$  – число наблюдаемых объектов

$\Delta t$  - промежуток времени = 200 ч.

$$\sum_{i=1}^N n_i(t) = 1$$

$$\sum_{i=1}^N n_i(t + \Delta t) = 1 + 2 = 3$$

$$\omega(t) = (3-1)/5 * 200 = 0,002 \text{ авто/ч.}$$

## 2.7 Показатели долговечности

**Гамма-процентный ресурс  $T_{\gamma}$**  – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Например, если  $\gamma = 80 \%$ , то рассматриваемый ресурс машины до предельного состояния называется 80-процентным ресурсом. При назначенном 80-процентном ресурсе двигателей в 200000 ч. ( $T_{80} = 200000$  ч) 80 % двигателей должны иметь наработку до предельного состояния не менее 200000 часов.

**Гамма-процентный срок службы  $t_{\gamma}$**  – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Средний ресурс** – матожидание ресурса, т.е. средняя величина наработки или срока службы до предельного состояния.

**Средний срок службы** – матожидание срока службы.

При использовании показателей долговечности следует указывать начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния. Напр.: гамма-процентный ресурс от второго капремонта до списания. Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию и до окончательного снятия его с эксплуатации, называются гамма-процентный полный ресурс (срок службы), средний полный ресурс (срок службы).

## 2.8 Показатели сохраняемости

Показатели сохраняемости характеризуют свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах в процессе длительного хранения и транспортирования.

К ним относятся **гамма-процентный срок сохраняемости** и **средний срок сохраняемости**, определяемые аналогично показателям долговечности.

## 2.9 Показатели ремонтпригодности

**Вероятность восстановления** – вероятность того, что фактическое время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного значения, регламентированного нормативными документами.

Данная величина характеризует приспособленность машины к проведению текущего ремонта.

**Гамма-процентное время восстановления** – время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Среднее время восстановления** – матожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Данный показатель характеризует продолжительность вынужденного простоя объекта, необходимого для поиска и устранения одного отказа.

**Интенсивность восстановления** – 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** – матожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

## 2.10 Комплексные показатели надежности

Каждый из описанных ранее показателей позволяет оценить только одно свойство надежности изделия. Для предварительной качественной оценки надежности используют комплексные показатели, позволяющие одновременно оценить несколько свойств изделия. Наиболее часто применяемыми на практике комплексными показателями надежности являются следующие.

**Коэффициент готовности  $K_r$**  – характеризует вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта не предусматривается. Коэффициент готовности не учитывает затрат времени на проведение планового технического обслуживания и ремонта.

$$K_r = \frac{T}{T+T_B},$$

где  $T$  – средняя наработка на отказ;  $T_B$  – среднее время восстановления.

*Пример.* За период наблюдения автомобиль отказал 2 раза. Первая наработка на отказ составила 1000 ч., вторая – 1600 ч. Первый ремонт длился 4 ч., второй – 6 ч. Определить Коэффициент готовности  $K_r$ .

Решение:

$$T = (1000 + 1600)/2 = 1300 \text{ ч.}$$

$$T_B = (4 + 6)/2 = 5 \text{ ч.}$$

$$K_T = \frac{T}{T+T_B} = 1300/(1300 + 5) = 0,996$$

**Коэффициент оперативной готовности** – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного промежутка времени.

**Коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$**  – отношение матожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к матожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

$$K_{ТИ} = \frac{T_c}{T_c + T_{то} + T_p},$$

где  $T_c$  – суммарная наработка изделия, ч.;  $T_{то}$  и  $T_p$  – соответственно продолжительности простоев машины при техническом обслуживании и ремонте, ч.

Коэффициент технического использования учитывает простой машины как в неплановых, так и в плановых ТО и ремонтах.

Пример. За период наблюдения автомобиль отказал 2 раза. Первая наработка на отказ составила 1000 ч., вторая – 1600 ч. Первый ремонт длился 4 ч., второй – 6 ч. Определить коэффициент технического использования, если продолжительность простоев машины в плановых ТО и ремонтах за тот же период составила 50 ч.

Решение:

$$T_c = 1000 + 1600 = 2600 \text{ ч.}$$

$$T_{то} + T_p = 4 + 6 + 50 = 60 \text{ ч.}$$

$$K_{ТИ} = \frac{T_c}{T_c + T_{то} + T_p} = 2600/(2600+60) = 0,977$$

Контрольные вопросы

1. Укажите основные объекты теории надежности.
2. Приведите классификацию технических систем.
3. Что понимается под резервированием?
4. Пять основных состояний объекта, их характеристики.

Основы теории надежности и диагностики

5. Понятие отказа. Критерии и основные категории отказов.
6. В чем отличие отказа от сбоя или повреждения?
7. Что называется восстановлением?
8. Определение понятия «надежность».
9. Понятие показателей надежности. Четыре метода определения значений показателей надежности.
10. Чем устанавливаются нормативные значения показателей надежности?
11. Четыре группы показателей надежности. Характеристика групп.
12. Отличие единичных и комплексных показателей надежности.
13. Перечислите основные пять критериев надежности невосстанавливаемых систем.
14. Что называется вероятностью безотказной работы (функцией надежности)  $P(t)$ ?
15. Приведите в одной системе координат графики функций вероятности безотказной работы  $P(t)$  и вероятности отказа  $F(t)$ .
16. Определение понятия гамма-процентной наработки до отказа  $\gamma$ .
17. Определение понятия средней наработки до отказа  $T_{cp}$ .
18. Что характеризует плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)  $f(t)$ ?
19. Понятие интенсивности отказов  $\lambda(t)$ .
20. В какой период (1 - период приработки; 2 - период нормальной эксплуатации; 3 - период старения) интенсивность отказов  $\lambda(t) = const$  ?
21. Приведите U-образную кривую интенсивности отказов. Какими физическими процессами вызвана такая форма кривой?
22. Три основные критерия надежности невосстанавливаемых систем.
23. Назовите четыре основных показателя долговечности.
24. Назовите два основных показателя сохраняемости.
25. Назовите пять основных показателей ремонтпригодности.
26. Для чего применяются комплексные показатели надежности? Что характеризует коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования?

## **3 Сбор, обработка и анализ эксплуатационных данных о надежности объекта**

### **3.1 Цель, задачи и принципы сбора и систематизации эксплуатационной информации о надежности изделий**

Цель сбора информации – получение достоверных данных о надежности объектов и их элементов в процессе эксплуатации. Система сбора и обработки информации

должна охватывать:

- предприятия-разработчики технической документации машины;
- заводы-изготовители;
- эксплуатационные предприятия;
- ремонтные организации;

должна обеспечивать:

- получение объективных статистических данных о параметрах надежности объекта;
- оперативную обработку статистических данных;
- разработку мероприятий по повышению надежности объекта предприятиями-разработчиками технической документации машины, заводами-изготовителями, эксплуатационными предприятиями и ремонтными организациями.

Результаты сбора и обработки статистической информации о надежности объектов должны обеспечить возможность решения следующих задач:

- выявление причин отказов;
- выявление элементов, лимитирующих надежность объекта («слабых звеньев»);
- определение нормируемых показателей надежности объекта;
- обоснование норм расхода запасных частей и периодичности проведения ТО и ремонта;
- выявление влияния условий и режимов эксплуатации на надежность объекта;
- определение экономической эффективности мероприятий по повышению надежности объекта и его элементов.

Обеспечение надежности изделий в значительной степени связано с использованием статистической информации о результатах эксплуатации изделия. Для сбора и обработки информации о надежности изделия предусмотрены следующие виды форм учетной документации:

- первичные формы учета эксплуатационной информации (журналы учета наработок, неисправностей и отказов);
- формы-накопители эксплуатационной информации (карты-накопители наработок, неисправностей и отказов);

- формы записи результатов анализа надежности (сводный перечень оценок показателей надежности).

Формы учетной документации составляются с обеспечением возможности машинной обработки информации.

Основными методами сбора информации о надежности машин в эксплуатации являются:

- инструментальный метод;
- хронометраж;
- метод периодических наблюдений;
- метод на основе анализа данных эксплуатационной и ремонтной документации.

*Инструментальный метод* позволяет получить объективную информацию в наиболее полном объеме. Информацию данным методом собирают в условиях подконтрольной эксплуатации при испытании машин. При этом используют контрольно-измерительную аппаратуру, установленную на испытуемом автомобиле. Надежность элементов оценивают по изменению их технических параметров. Основными недостатками данного метода являются необходимость оснащения машины дорогостоящей измерительной аппаратурой, высокая стоимость исследований и организационные трудности, связанные с установкой, настройкой и эксплуатацией измерительной аппаратуры.

*Метод хронометража* используют для определения чистого времени работы машины.

*Метод периодических наблюдений* применяют, когда невозможно установить постоянное наблюдение за машиной из-за удаленности объекта. Информацию собирают на основе проведения опросов водителей и результатов технической экспертизы автомобиля. Основным недостатком данного метода является низкая достоверность полученных результатов.

*Метод сбора информации на основе анализа данных эксплуатационной и ремонтной документации* применяют достаточно широко. При условии добросовестного и аккуратного заполнения документации с помощью этого метода можно получить исходные данные для определения всех основных нормируемых показателей надежности машины.

Для повышения достоверности результатов вышеуказанные методы комбинируют. Информацию, полученную из различных источников и разными способами, объединяют методами математической статистики.

### **3. 2 Построение эмпирического распределения и статистическая оценка его параметров**

Исходной информацией, являющейся основой для построения эмпирического распределения, является таблица данных, полученных методами

сбора эксплуатационной информации или в результате экспериментальных исследований рассматриваемого параметра изделия. Дальнейшая обработка данной информации производится в несколько этапов:

*1. Предварительная обработка информации*

В задачи предварительной обработки информации входит систематизация отказов, исключение заведомо грубых погрешностей замеров, сортировка данных по возрастанию их значений.

*2. Разбивка интервалов*

Ориентировочное количество интервалов  $K$  для построения гистограммы определяется из выражения:

$$K = 1 + 3,3 \lg(n),$$

где  $n$  – объем выборки. При этом следует стремиться к тому, чтобы размер интервала являлся удобной для расчета круглой цифрой.

*3. Построение гистограммы*

Для оценки плотности вероятности отказов строится гистограмма. По оси абсцисс отложены временные интервалы (в часах) испытания изделия, а по оси ординат - количества выявленных отказов изделия в каждом из временных интервалов (плотность). На рис. 3.1 представлены примеры статистической функции плотности эмпирического распределения для экспоненциального и нормального распределений.

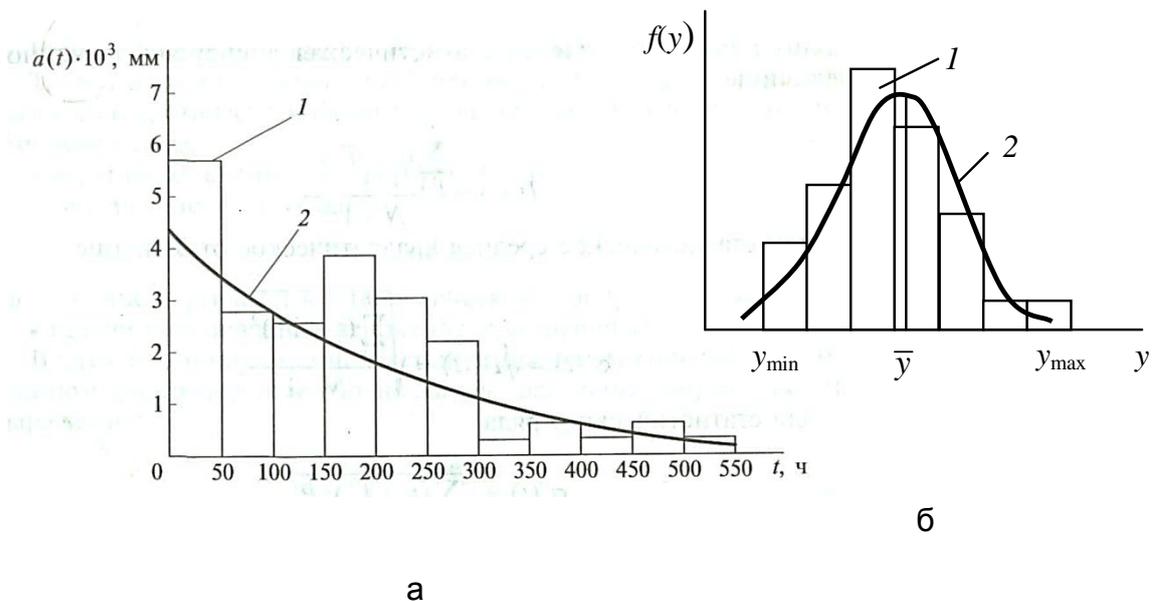


Рисунок 3.1 - Статистическая функция плотности эмпирического распределения: экспоненциальное (а) и нормальное (б) распределения. 1 -

гистограмма распределения случайной величины; 2 - кривая теоретической функции распределения случайной величины

#### 4. Подбор теоретической функции распределения случайной величины

Для имеющихся данных подбирается теоретическая функция распределения, выражающая существенные моменты распределения и исключая случайные моменты, связанные с незначительным объемом экспериментальных данных.

Вид такой функции, как правило, зависит от вида процессов, влияющих на изменение случайной величины. Часто он определяется внешним видом гистограммы. Наиболее часто применяющиеся для аппроксимации функции рассмотрены далее в разделе «Основные законы распределения». Найденные ранее экспериментальные значения подставляют в функцию и рассчитывают ее теоретические значения в тех же интервалах.

Для нормального распределения количество отказов в интервале от  $- \sigma$  до  $+ \sigma$  от среднего значения составляет 68,26 %; в интервале от  $- 2\sigma$  до  $+ 2\sigma$  – 95,44 %; в интервале от  $- 3\sigma$  до  $+ 3\sigma$  – 99,7 %. Если распределение отвечает указанным требованиям, то это распределение является нормальным. Данное положение называют правилом трех сигм.

Подбор теоретической функции распределения случайной величины может производиться и по рассчитанному значению коэффициента вариации  $V$ : при  $V = 0,10 \dots 0,33$  события (отказы) могут быть описаны нормальным законом распределения; при  $V = 0,34 \dots 0,50$  – логарифмически-нормальным распределением; при  $V > 0,50$  - экспоненциальным распределением.

#### 5. Проверка правильности выбора функции распределения

Проверка согласованности экспериментальных и рассчитанных по аппроксимирующей функции данных производится по критерию Пирсона  $\chi^2$  (хи квадрат).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(P_i - P_{pi})^2}{P_{pi}},$$

где  $P_i$  – экспериментально полученная частота случайной величины в интервале  $i$ ;  $P_{pi}$  – расчетная частота случайной величины в интервале  $i$ .

Полученное расчетное значение сравнивают с табличным:  $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$ . Если данное условие не выполняется необходимо подобрать иной закон распределения и повторить проверку.

При проведении статистической оценки параметров распределения случайной величины используются следующие основные показатели.

Среднее значение  $T_{\text{ср}}$

$$T_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N} t_i$$

где  $t_i$  - значение, соответствующее середине  $i$ -го интервала;  $n_i$  – число отказов в данном интервале;  $N$  – число наблюдаемых объектов.

Дисперсия  $D$  - мера разброса данной случайной величины, то есть её отклонения от среднего значения

$$D = \sum_{i=1}^N (t_i - T_{cp})^2 \frac{n_i}{N}.$$

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  - также как и дисперсия  $D$  является мерой разброса данной случайной величины.

$$\sigma = \sqrt{D}$$

Большое значение среднеквадратического отклонения или дисперсии показывает большой разброс значений в представленном множестве со средней величиной множества; маленькое значение, соответственно, показывает, что значения в множестве сгруппированы вокруг среднего значения.

Для нормального распределения количество отказов в интервале от  $- \sigma$  до  $+ \sigma$  от среднего значения составляет 68,26 %; в интервале от  $- 2\sigma$  до  $+ 2\sigma$  – 95,44 %; в интервале от  $- 3\sigma$  до  $+ 3\sigma$  – 99,7 %. Если распределение отвечает указанным требованиям, то это нормальное распределение. Это называется правилом трех сигм.

Коэффициент вариации  $V$  - мера относительного разброса случайной величины. Показывает какую долю среднего значения этой величины составляет её средний разброс. Исчисляется в процентах. В отличие от среднего квадратического отклонения измеряет не абсолютную, а относительную меру разброса значений признака в статистической совокупности.

$$V = \sigma / T_{cp}$$

### 3.3 Основные законы распределения случайных величин

В теории технической эксплуатации автомобилей применяются следующие законы распределения вероятностей непрерывных случайных величин: экспоненциальный; нормальный; логарифмически-нормальный; закон Вейбулла-Гнеденко; гамма-распределение и др.

3.3.1 Экспоненциальное (показательное) распределение

Закон экспоненциального распределения нашел широкое применение, в особенно технике. Экспоненциальным законом распределения можно аппроксимировать данные машин, эксплуатируемых в период после окончания приработки и до периода существенного проявления постепенных отказов старения объекта (см. рис. 2.4.), экспоненциальный закон распределения применяется при описании внезапно возникающих событий, вызванных внешними причинами, например, прокол шины, разрушение ветрового стекла и т.д.

Плотность экспоненциального распределения определяется по формуле  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$  (рис. 3.3 а), где  $\lambda = \frac{1}{T_{cp}}$  - интенсивность отказов, характеризующая число отказов в единицу времени;  $T_{cp}$  - средняя наработка элемента до отказа;  $t$  - время.

Вероятность безотказной работы за время  $t$  определяет функция надежности:

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

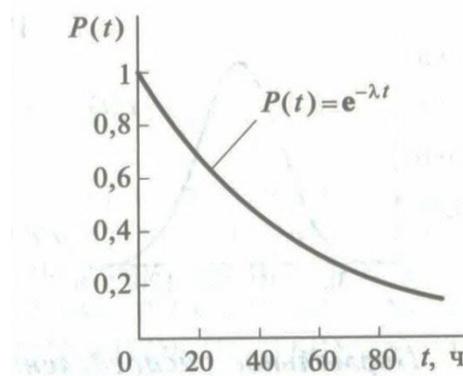
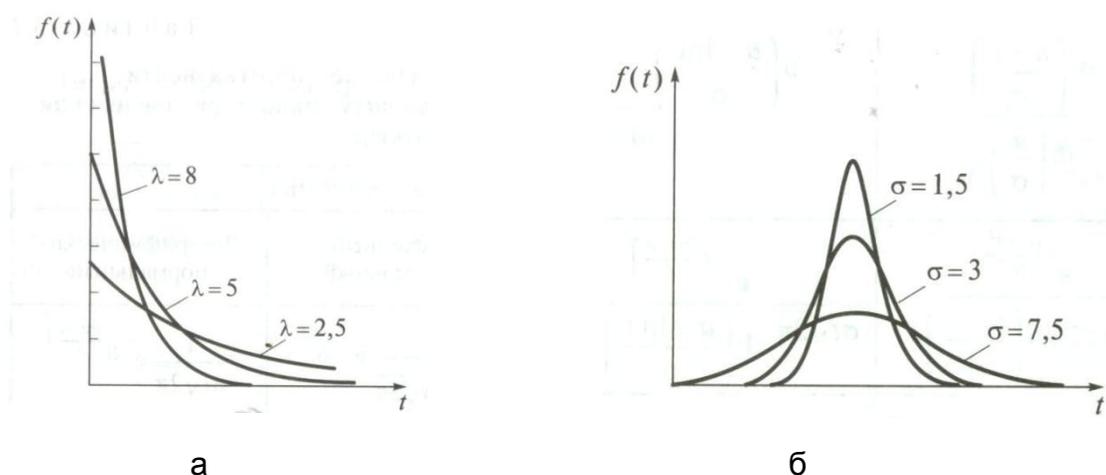


Рисунок 3.2 - Функция надежности при  $\lambda = 0,02 ч^{-1}$



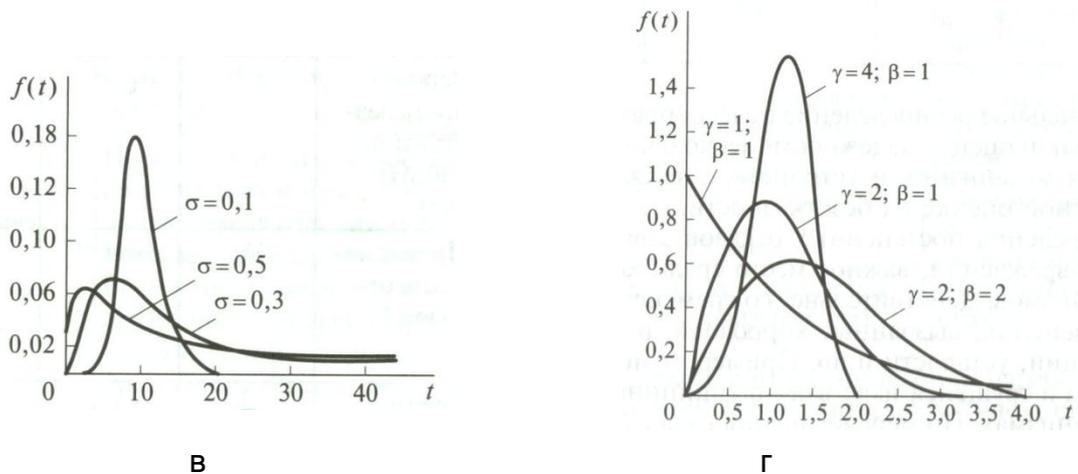


Рисунок 3.3 - Плотности различных законов распределения: а - экспоненциального; б – нормального; в – логарифмически-нормального; г - Вейбулла

*Пример:* Время безотказной работы элемента подчинено экспоненциальному распределению с параметром  $\lambda = 0,02 \text{ ч}^{-1}$ . Найти вероятности того, что элемент проработает безотказно в течение 10 ч. и в течение 50 ч.

Решение:

$$\lambda = 0,02 \text{ ч}^{-1}$$

$$t_1 = 10 \text{ ч.}$$

$$t_2 = 50 \text{ ч.}$$

$$P(10) = e^{-\lambda t} = e^{-0,02 \cdot 10} = 0,8187$$

$$P(50) = e^{-0,02 \cdot 50} = 0,3679$$

### 3.3.2 Нормальное распределение

Закон нормального распределения (распределение Гаусса) является основным в математической статистике. Распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многочисленные примерно равнозначные факторы.

Нормальное распределение определяется плотностью:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}$$

и зависит от двух параметров: матожидания  $m$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma$ . График плотности нормального распределение (кривая Гаусса) приведен на рис. 3.4.

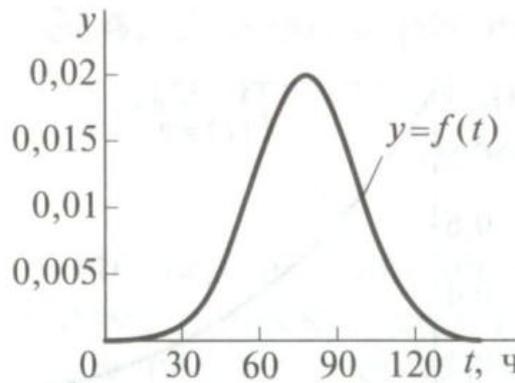


Рисунок 3.4 - График плотности нормального распределения с параметрами  $m = 80$  ч.,  $\sigma = 20$  ч.

Изменение вида кривой в зависимости от параметров распределения приведено на рис. 3.3 б. Матожидание определяет положение максимума по оси ординат, а среднее квадратическое отклонение – ширину петли.

Для нормального распределения функция надежности вычисляется по формуле:

$$P(t) = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{t-m}{\sigma}\right),$$

где  $\Phi_0$  – функция Лапласа, значения которой приводятся в справочных таблицах.

Пример: Время безотказной работы элемента подчинено нормальному распределению с параметрами  $m = 80$  ч. и  $\sigma = 20$  ч. Найти вероятность того, что элемент проработает безотказно в течение 60 ч.

Решение:

$$P(t) = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)$$

$$P(60) = 0,5 - \Phi_0\left(\frac{60-80}{20}\right) = 0,5 - \Phi_0(-1) = 0,5 + \Phi_0(1) = 0,8413.$$

## 3.3.3 Логарифмически-нормальное распределение

Логарифмически-нормальное распределение применяют для описания процессов усталостного разрушения, износных отказов, при исследовании событий, обусловленных совместным действием износа и старения материалов, для описания процессов восстановления и в ряде других случаев.

Плотность логарифмически-нормального распределения описывается формулой:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - a)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $a$  – параметр распределения, определяемый по результатам испытаний.

Кривая логарифмически-нормального распределения аналогична кривой нормального распределения, но с несимметричной петлей (рис. 3.3 в).

## 3.3.4 Распределение Вейбулла

Распределение Вейбулла применяется в моделях со «слабым звеном», а также в сложных системах в случаях если система состоит из группы независимых элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы. Наряду с логарифмически-нормальным распределением распределение Вейбулла хорошо описывает наработку деталей по усталостным разрушениям, наработку до отказа подшипников и др.

Распределение Вейбулла является достаточно универсальным, благодаря возможности варьирования двумя его параметрами:  $\alpha$  – параметр формы и  $\beta$  – параметр масштаба.

Плотность распределения вероятностей (рис. 3.3 г):

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}.$$

Установлены следующие закономерности возникновения отказов:

- внезапные отказы – экспоненциальному закону;
- постепенные отказы – подчиняются нормальному закону распределения;
- отказы из-за старения материалов – закону Вейбулла.

### 3.4 Доверительный интервал

Статистическая величина может быть определена с заданной доверительной вероятностью точечной и интервальной оценкой вида  $\alpha = \alpha_{\text{ср}} \pm \Delta$ .

**Точечная оценка** выражается одним числом  $\alpha_{\text{ср}}$  и характеризует одно наиболее вероятное значение из возможных значений случайной величины (среднее арифметическое).

**Интервальная оценка** ( $\pm \Delta$ ) задает область значений относительно точечной оценки, в которой будут находиться значения случайной величины с заданной доверительной вероятностью  $\beta$ .

Значение половины доверительного интервала  $\Delta$  вычисляется из выражения

$$\Delta = t_{\beta} \sigma,$$

где  $t_{\beta}$  – значение критерия Стьюдента при заданной доверительной вероятности  $\beta$  (определяется по справочным таблицам);  $\sigma$  – величина среднего квадратического отклонения, полученная экспериментальным путем.

#### Контрольные вопросы

1. Что должна охватывать и что обеспечивать система сбора и обработки эксплуатационной информации?
2. Возможность решения каких задач должны обеспечить результаты сбора и обработки статистической и информации о надежности объектов?
3. Назовите четыре метода сбора информации о надежности машин в период эксплуатации.
4. Назовите пять этапов построения эмпирического распределения и статистической оценки его параметров.
5. Какая проверка производится по критерию Пирсона  $\chi^2$  (хи квадрат)?
6. Что характеризует дисперсия  $D$ ?
7. Перечислите четыре основных закона распределения случайных величин в теории технической эксплуатации автомобилей и области их применения.
8. Понятие доверительного интервала.

## 4 Надежность сложных систем

### 4.1 Характеристики сложных систем

Автомобили являются сложными системами, состоящими из отдельных узлов, деталей, агрегатов и иных элементов.

**Сложная система** – это объект, который может быть расчленен на составляющие его элементы, каждый из которых выполняет определенные функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы.

С точки зрения надежности сложная система обладает положительными и отрицательными свойствами. Основным фактором, отрицательно влияющим на надежность сложной системы, является большое число входящих в систему элементов, отказ каждого из которых может привести к отказу всей системы. Основным положительным свойством является, как правило, возможность восстановления работоспособности системы по частям без полного прекращения ее функционирования, например, временное отключение отдельных участков системы для их ТО и ремонта.

Соединения элементов в сложной системе могут быть последовательными, параллельными и смешанными, содержащими как последовательные, так и параллельные соединения элементов.

### 4.2 Системы с последовательным соединением элементов

Последовательное соединение элементов в автомобилях применяется наиболее часто. Например: ДВС – сцепление - КП – карданная передача – задний мост - колеса.

В таких системах каждый элемент характеризуется вероятностью безотказной работы  $p_i$  в течение заданного периода времени и по этим значениям определяют вероятность безотказной работы всей системы  $P(t)$ .

Наиболее характерен случай, когда отказ одного элемента выводит из строя всю систему. Это имеет место, например, при **последовательном соединении элементов** (рис. 4.1 а).

Вероятность безотказной работы такой системы равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов:

$$P(t)_{\text{посл}} = p_1 p_2 p_3 \dots p_n = \prod_{i=1}^n P_i.$$

Из данного выражения видно, что сложные системы, состоящие из элементов с высокой надежностью, могут обладать низкой общей надежностью из-за большого числа элементов.

Например, если объект состоит из 50 элементов с надежностью каждого  $p_i = 0,99$ , то вероятность безотказной работы всей системы  $P(t) = 0,99^{50} = 0,55$ . Если аналогичная система будет состоять из 400 элементов, то  $P(t) = 0,99^{400} = 0,018$ , т.е. система будет практически неработоспособна.

Надежность системы с последовательно соединенными элементами ниже надежности ее самого слабого звена.

Для расчета надежности системы должны быть известны законы распределения сроков службы (наработки) каждого элемента системы. При внезапных отказах часто применяют экспоненциальный закон, при котором вероятность безотказной работы элементов определяется из выражения:

$$p_n = e^{-\lambda n t}.$$

Тогда вероятность безотказной работы системы:

$$P(t)_{\text{посл}} = p_1 p_2 p_3 \dots p_n = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)t}.$$

### 4.3 Системы с параллельным и смешанным соединениями элементов

Вероятность безотказной работы системы **при параллельном соединении элементов** (рис. 4.1 в) определяется из выражения

$$P(t)_{\text{пар}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i).$$

Например, если вероятность безотказной работы каждого элемента  $p_i = 0,99$  и количество элементов равно 3, то

$$P(t)_{\text{пар}} = 1 - (1 - 0,99)^3 = 0,999999.$$

Таким образом, вероятность безотказной работы системы с параллельным соединением элементов выше вероятностей безотказной работы ее элементов.

**Системы со смешанным соединением элементов** рассматриваются как совокупность отдельных подсистем с последовательным или параллельным соединениями. Производится расчет вероятностей безотказной работы каждой из подсистем отдельно, затем вычисляется общая вероятность безотказной работы системы как системы, состоящей из последовательно соединенных подсистем.

## 4.4 Методы повышения надежности систем

Надежность изделия закладывается на этапе его проектирования, реализуется в процессе изготовления и поддерживается при эксплуатации. Исходя из этого, основными методами повышения надежности систем являются:

- конструктивные;
- технологические (на этапах проектирования и изготовления);
- эксплуатационные.

К **конструктивным методам** относятся:

- 1) снижение количества элементов системы;
- 2) применение в системе элементов с высокой и приблизительно равновеликой надежностью;
- 3) выбор долговечных и прочных материалов, повышение запаса прочности элементов;
- 4) защита от разрушающих воздействий окружающей среды;
- 5) унификация и стандартизации применяемых элементов;
- 6) обеспечение контроле- и ремонтпригодности изделия;
- 7) обеспечение оптимального теплового и смазочного режимов работы изделия;
- 8) применение эффективных устройств для очистки воздуха, топлива, масла и иных рабочих жидкостей;
- 9) конструктивное ограничение опасных последствий отказов элементов системы (гидрозамки, отсечные клапаны гидросистем, предохранители и т.д.);
- 10) защита от ошибочных действий оператора (водителя);
- 11) применение резервирования элементов системы (см. ниже).

К **технологическим мероприятиям** повышения надежности в процессе производства относятся:

- 1) подбор и текущий контроль качества материалов деталей;
- 2) упрочнение рабочих поверхностей деталей химико-термической обработкой или поверхностным пластическим деформированием;
- 3) нанесение специальных покрытий для повышения износо- и коррозионной стойкости деталей;
- 4) применение современных автоматизированных технологий, соблюдение технологий производства;
- 5) внедрение на предприятии системы обеспечения качества (например, ИСО 9000).

**Эксплуатационные мероприятия** повышения надежности включают в себя:

- 1) повышение квалификации персонала;
- 2) соблюдение требований нормативной эксплуатационной документации;
- 3) обеспечение нормальных режимов эксплуатации автомобиля;
- 4) соблюдение правил технической эксплуатации, обслуживания, ремонта и хранения автомобиля;
- 5) оптимизация объема и периодичности диагностирования, ТО и ремонта.

### Резервирование элементов системы

Как было указано выше, одним из методов конструктивного повышения надежности на этапе проектирования является **метод резервирования** - создание дополнительных средств и возможностей для сохранения работоспособности системы при отказе одного или нескольких ее элементов (рис. 4.1 б, г, д).

Различают следующие методы резервирования:

- прочностное;
- структурное.

**Прочностное резервирование** предполагает использование принципа избыточности, при котором конструктивными методами на этапе проектирования умышленно завышается средний ресурс изделия над установленным технической документацией нормативным сроком его эксплуатации. Это достигается увеличением критичных размерных параметров деталей, применением более прочных материалов, увеличением жесткости конструкции, увеличением площадей сопрягаемых поверхностей и т.д.

Основным недостатком прочностного метода резервирования является увеличение стоимости и (или) массы изделия.

Примером применения прочностного метода резервирования в автомобилестроении является применение более толстых листов металла при изготовлении кузова.

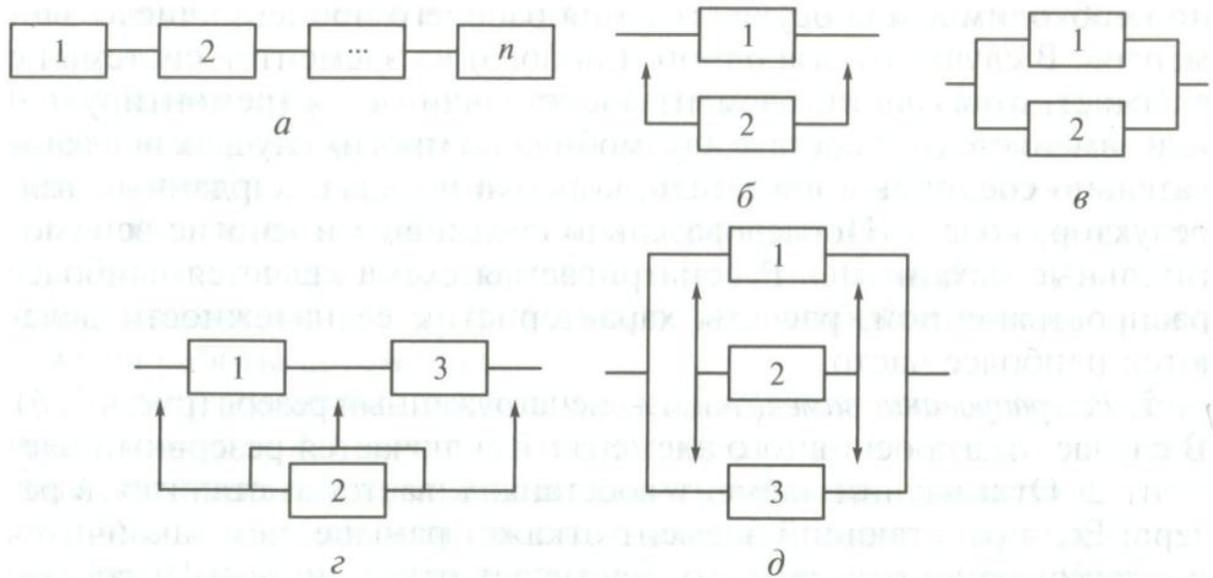
**Структурное резервирование** заключается в введении в систему дублирующих элементов. При выходе из строя одного из элементов его функции частично или полностью переходят к дублирующему элементу, и изделие не прекращает своей работы.

Резервирование является структурной избыточностью, предполагающей наличие в системе дополнительных элементов, не являющихся функционально необходимыми при безотказной работе системы.

Применение резервирования позволяет существенно повысить вероятность безотказной работы машины. Например, двухконтурная система привода тормозов автомобиля, дублирование системы зажигания, запасное колесо и т.д. Последнее называется **резервированием с замещением**. Резервирование с замещением подразделяется на **резервирование с ненагруженным резервом** (холодное резервирование) и **резервирование с нагруженным резервом** (горячее резервирование) (рис. 4.1).

При резервировании с ненагруженным резервом резервные элементы в основном режиме эксплуатации находятся в отключенном состоянии и включаются только в случае отказа основного элемента. При резервировании с нагруженным резервом основной и резервный элементы работают одновременно

в одинаковом режиме. При отказе одного из них вся нагрузка переходит на второй элемент.



а – последовательное соединение элементов: отказ любого из элементов приводит к отказу всей системы;

б – резервирование с замещением – ненагруженный резерв: в случае отказа основного элемента 1 включается резервный элемент 2. Отказавший элемент восстанавливается и ставится в резерв (например, запасное колесо автомобиля);

в – параллельная работа элементов - нагруженный резерв: в случае отказа элемента 1 функции обоих элементов выполняет элемент 2;

г, д – скользящий резерв: Аналогично случаю «б», но предусмотрена возможность нескольких вариантов замещения. В случае отказа основного элемента 1 или 3 включается резервный элемент 2. Отказавший элемент восстанавливается и ставится в резерв.

Рисунок 4.1 - Схемы соединений элементов объекта

### Контрольные вопросы

1. Понятие сложной системы. Виды соединений элементов сложной системы.
2. Вероятность безотказной работы сложной системы с последовательным соединением элементов.
3. Вероятность безотказной работы сложной системы с параллельным соединением элементов.
4. Вероятность безотказной работы сложной системы со смешанным соединением элементов.
5. Назовите три основных метода повышения надежности систем.
6. Методы прочностного и структурного резервирования.

## 5 Физическая сущность изменения надежности конструктивных элементов автомобилей при их эксплуатации

### 5.1 Причины потери работоспособности элементов машин

Причины отказа - это события, явления, процессы и состояния, обусловившие возникновение отказа.

**Событиями**, приводящими к отказам, могут быть: возникновение перегрузки, попадание абразива в смазочные жидкости, схватывание сопрягаемых поверхностей, нарушение режима и правил эксплуатации.

К **явлениям**, вызывающим отказ детали, можно отнести: износ, деформацию, разупрочнение поверхности и т.д.

Отдельные явления приводят к возникновению **процессов**: изнашивание, коррозия, старение материала и т.д.

**Состояниями** изделия, повлекшим за собой его отказ, могут быть: отсутствие защиты от пыли, абразива и влаги, наличие концентраторов напряжений, трещины, дефекты сборки и т.д.

Потери работоспособности элементов машин в процессе эксплуатации обусловлены в основном отказами, возникающими в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации.

При определении причин отказов в первую очередь должен быть произведен анализ режимов и условий эксплуатации, действующих нагрузок.

Основной причиной эксплуатационных отказов автомобилей является действие нагрузок. Действующие на автомобиль нагрузки могут быть подразделены на две группы:

- 1) нагрузки, обусловленные внешними воздействующими факторами;
- 2) нагрузки, возникающие при функционировании самого изделия.

Для деталей автомобилей типичны механические и тепловые нагрузки. Изделие подвергается, как правило, одновременному воздействию нескольких видов нагрузок. Их действие может быть взаимозависимо (например, тепловая деформация и возникшая из-за этого механическая нагрузка).

### 5.2 Физико-химические процессы разрушения материалов

Материалы большинства изделий технических объектов представляют собой твердые тела кристаллической структуры. Во всех используемых в

автомобильной промышленности деталях имеются элементарные дефекты кристаллической структуры, которые при определенных критических условиях могут служить причиной отказа. Под воздействием тепла и иных физических факторов элементарные дефекты могут разрастаться и перемещаться, что приводит к деформации элемента и его последующему разрушению.

Наиболее типичными являются **точечные дефекты** (вакансии и др.) и **пространственные** (одно- двух- и трехмерные дефекты: пустоты, включения и т.д.).

Для изделий автомобильной промышленности наиболее распространенным типом точечного дефекта являются **вакансии** (свободный, незанятый атомом, узел кристаллической решетки), которые оказывают решающее влияние на процессы, связанные с переносом атомов внутри материала.

### 5. 3 Старение материалов

**Старение материалов** – процесс постепенного и непрерывного изменения физико-химических свойств материала во времени.

Как правило, старение материалов приводит к ухудшению параметров изделия.

### 5.4 Отказы по параметрам прочности

**Прочность** – свойство материала сопротивляться разрушению и изменять форму под воздействием внешних и внутренних нагрузок.

**Деформация** – изменение формы или размеров изделия под воздействием внешних сил, при изменении температуры, влажности и иных параметрах внешней среды. **Упругая деформация** – деформация, исчезающая после устранения внешнего воздействия на изделие; **пластическая деформация** - деформация, остающаяся после снятия нагрузки.

Отказом по параметрам прочности могут быть разрушение изделия или получение недопустимой величины деформации.

Отказы по параметрам прочности чаще всего связаны с **изломом**, которые подразделяются на хрупкие и вязкие. Под **хрупким изломом** понимают излом без видимых признаков макроскопических пластических деформаций. Такое разрушение распространяется с большой скоростью, сопоставимой со скоростью распространения звука в данном материале. Т.е. возникает практически мгновенно. **Пластическому излому** предшествует пластическая деформация в месте будущего излома.

При работе изделия в условиях высоких температур важной характеристикой прочностной надежности является ресурс по ползучести. **Ползучесть** – явление непрерывной деформации материала при высоких температурах под воздействием постоянных напряжений. В результате ползучести происходит ослабление сопротивляемости материала внешним нагрузкам.

## 5.5 Трибологические отказы

**Трибология** – это наука, изучающая процессы изнашивания с учетом свойств материалов и смазки.

**Трибологическая надежность** – свойство изделия сохранять значения параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции, при функционировании в условиях трения и износа.

Показатели трибологической надежности в большинстве случаев могут быть выражены через скорость и интенсивность изнашивания. По статистике отказы из-за изнашивания составляют 50...80 % всех эксплуатационных отказов машин.

**Изнашивание** – это процесс отделения материала с поверхности твердого тела под действием силы трения.

**Износ** - результат процесса изнашивания, выраженный в установленных единицах измерения (например, микрометрах). При достижении износа предельно допустимых значений происходит отказ изделия.

**Скорость изнашивания** – отношение величины износа к интервалу времени, в течение которого он возник.

**Интенсивность изнашивания** – отношение величины износа к пути, на котором происходило изнашивание или к объему выполненной работы.

Классификация видов изнашивания деталей автомобилей приведена на рис. 5.1.

**Механическое изнашивание** происходит в результате механических воздействий.

*Абразивное изнашивание* проявляется вследствие попадания между трущимися поверхностями абразивных частиц более высокой твердости, чем поверхности сопрягаемых деталей.

*Изнашивание при пластическом деформировании* - перемещение поверхностного материала в сторону скольжения (резьбовые соединения, вкладыши подшипников скольжения, втулки).

*Изнашивание при хрупком разрушении* – аналогично изнашивание при пластическом деформировании, но более интенсивно. При этом поверхностный слой соприкасаемых деталей в результате трения и деформирования подвергается наклепу, становится хрупким и разрушается с потерей массы (дорожки подшипников качения).

*Усталостное изнашивание (питтинг)* – образование поверхностных усталостных трещин под воздействием повторяющихся знакопеременных сил. Микротрещины растут и выкрашиваются, при этом смазка способствует процессу выкрашивания, действуя по механизму расклинивания (газораспределительный механизм, зубчатые передачи).

Основы теории надежности и диагностики

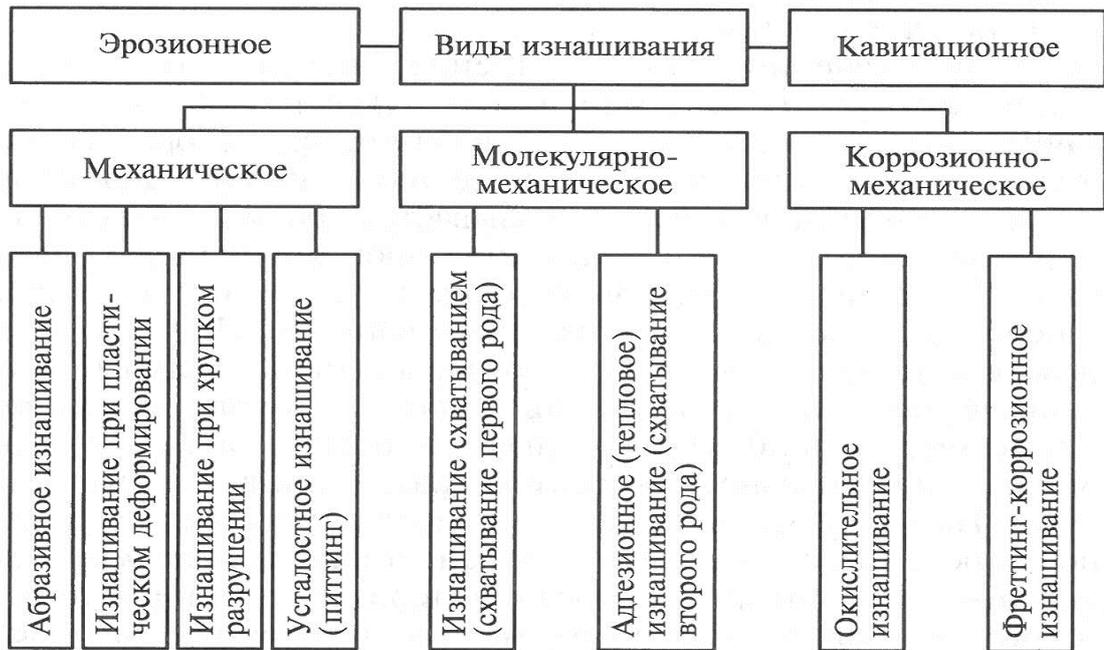


Рисунок 5.1 - Виды изнашивания деталей автомобилей

**Молекулярно-механическое изнашивание** происходит в результате молекулярного взаимодействия трущихся поверхностей. Имеет место при недостатке смазки, больших давлениях, температурах и скоростях скольжения.

*Схватывание* – временное микросваривание участков трущихся поверхностей. Впоследствии при сохранении силового воздействия схватывание разъединяется.

*Агдезия* – сначала происходит процесс схватывания, затем схватывание разъединяется с втиранием одного материала в поверхность другого. При более жестких условиях трения разъединения не происходит и детали заклинивает (шейки коленвала, зеркала цилиндров).

**Коррозионно-механическое изнашивание** – механическое изнашивание, усиленное явлением коррозии.

*Окислительное изнашивание* происходит под воздействием агрессивных сред, в результате чего на поверхности образуются оксиды металлов (подробнее рассмотрено ниже). Износостойкость оксидов существенно ниже износостойкости основных металлов и оксидная пленка истирается. После выработки оксиды вновь образуются и далее истираются. Цикл неоднократно повторяется, в результате чего поверхность изнашивается (шарнирные соединения).

*Феттинг-коррозионное изнашивание* характерно для поверхностей, подверженных, кроме окисления, вибрациям с высокой частотой и малыми амплитудами. При этом частицы оксидов не только истираются, но и осыпаются. Продукты окисления являются и абразивами (соединения корпусных деталей двигателя, картера сцепления).

**Эрозийное изнашивание** – вырывание частиц с поверхностей деталей, обдуваемых газами с высокой температурой и скоростью (камеры сгорания, выпускные клапаны). Подвид – **электроэрозийное изнашивание**: вырывание частиц под действием дуги электрического тока (контакты системы зажигания).

**Кавитационное изнашивание** происходит при омывании твердого тела жидкостью за счет локального изменения давлений и температур (лопасти водяного насоса).

Часто различные виды изнашивания проявляются комплексно: на зеркале цилиндра в различной степени проявляются все почти виды изнашиваний.

## 5.5 Отказы по параметрам коррозии

**Коррозия** – это разрушение металлов вследствие их электро-химического взаимодействия с коррозионной средой.

**Коррозийная надежность** – свойство изделия сохранять значения параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в условиях взаимодействия с коррозионной средой.

Коррозия ускоряет процессы изнашивания, усталостного разрушения, снижает прочностные и деформационные свойства изделия.

**Критериями отказов по коррозии** являются величина коррозии и ее скорость. Данные параметры выражаются через параметры коррозионной стойкости, характеризующей способность металла сопротивляться коррозионному воздействию среды.

**Коррозийная стойкость** оценивается:

изменением в результате коррозии массы металла, отнесенной к единице поверхности и единице времени;

объемом выделяющегося в процессе коррозии водорода (или поглощения кислорода), отнесенным к единице поверхности и единице времени;

уменьшением толщины металла, выраженной в линейных единицах и отнесенным к единице времени;

изменением какого-либо показателя механических свойств за определенное время, выраженным в процентах, или временем до разрушения образца заданных размеров;

временем до появления первого коррозионного очага;

иными более редко применяющимися критериями.

## 5.6 Диаграмма изнашивания

Процесс изнашивания поверхностей деталей подразделяется на три периода (рис. 5.2.):

- 1) период приработки;
- 2) период стабильного (нормального) изнашивания.
- 3) период предельного изнашивания.

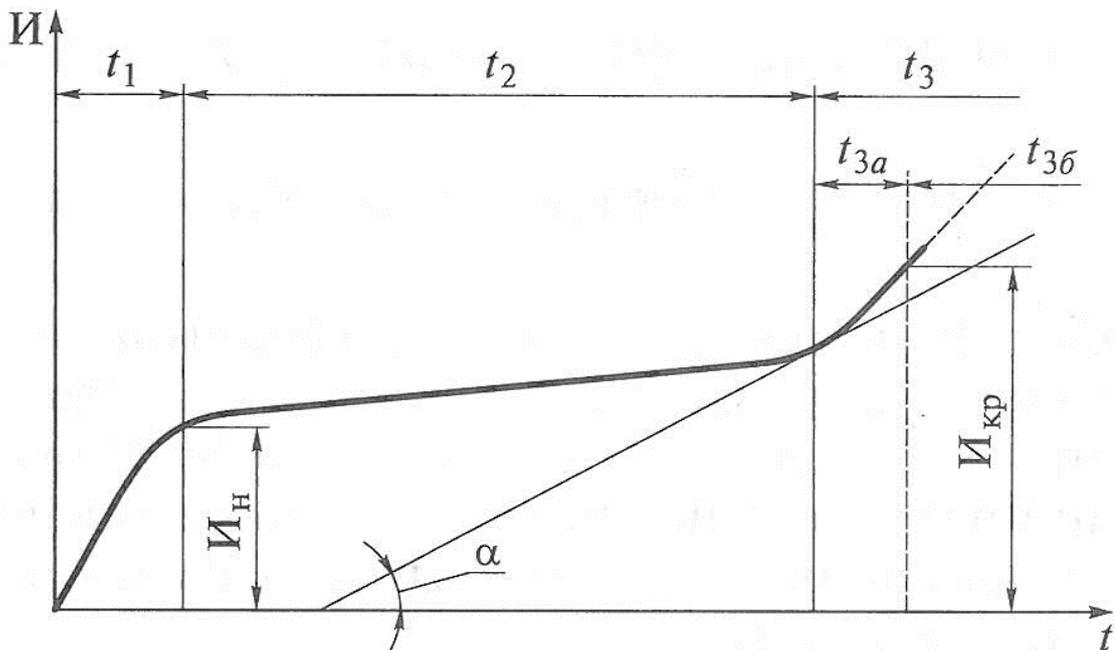


Рисунок 5.2 - Диаграмма изнашивания деталей автомобиля

В период приработки  $t_1$  происходит макро- и микрогеометрическая приработка поверхностей трения деталей. Для большинства элементов автомобилей полная приработка составляет 3...3,5 % от их ресурса до капитального ремонта или списания.

В период стабильного изнашивания  $t_2$  происходит постепенное умеренно ускоряющееся изнашивание деталей. Это эксплуатационный период, составляющий до 95 % ресурса, в течение которого автомобиль работает при относительно стабильных технических характеристиках.

С началом периода предельного изнашивания  $t_3$  наблюдается прогрессирующее изнашивание. Оно происходит после наступления предельного состояния конструктивных элементов автомобиля. Эксплуатация автомобиля в этот период неэффективна и опасна.

#### Контрольные вопросы

1. Что является основной причиной эксплуатационных отказов автомобилей?
2. Понятие старения материалов.
3. Понятия прочности, упругой и пластичной деформации, хрупкого и пластичного изломов. Ползучесть материала.
4. Понятие трибологии. Трибологическая надежность. Износ. Классификация видов изнашивания деталей автомобилей.
5. Отказы по параметрам коррозии.
6. Диаграмма изнашивания деталей автомобиля.

## 6 Связь показателей надежности с безопасностью движения

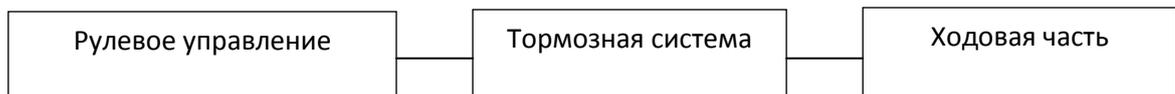
Основной причиной автомобильных аварий является недостаточная надежность функционирования комплекса АВДС. Надежность автомобиля и его систем является одним из основных факторов в проблеме безопасности дорожного движения.

Перечень неисправностей и условий, при которых запрещена эксплуатация транспортных средств, приведен в приложении к Постановлению Правительства РФ "О правилах дорожного движения" - «Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанностям должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения».

Отказ автомобиля – одна из причин ДТП. Нахождение систем автомобиля, влияющих на безопасность движения, в предотказном состоянии, характеризуемом граничными значениями диагностических параметров, способствует возрастанию вероятности потери устойчивости и управляемости. Эксплуатация таких автомобилей сопряжена с высоким риском возникновения ДТП.

К основным механизмам автомобиля, обеспечивающим безопасность движения, относятся: рулевое управление; тормозная система; ходовая часть.

Получаем сложную систему из последовательных элементов:



Для исключения случаев эксплуатации транспортных средств с техническими неисправностями, способствующими возникновению предотказного состояния его систем, вводится комплексный показатель надежности автомобиля:

$$K = P_p \cdot P_t \cdot P_x,$$

где  $P_p$ ,  $P_t$ ,  $P_x$  – соответственно вероятности безотказной работы рулевого управления, тормозной системы и ходовой части автомобиля.

В случае если показатель работоспособности системы  $K$  выходит за область допустимых значений, вероятность безотказной работы системы принимает нулевое значение (параметрический отказ) и эксплуатировать транспортное средство запрещается. Когда значение рассчитанного для автомобиля комплексного показателя надежности  $K$  больше предельно допустимого транспортное средство допускается до эксплуатации.

Вероятность безотказной работы каждой из систем, влияющей на безопасность движения, может быть установлена в ходе теоретических и экспериментальных исследований.

Вероятность безотказной работы системы автомобиля, влияющая на безопасность движения, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$P = 1 - F = \left(1 - \frac{D}{D_{пред}}\right) 100\%$$

где  $D$  и  $D_{пред}$  - фактическое и предельно допустимое значения показателя работоспособности.

В качестве примера рассчитаем вероятность безотказной работы рулевого управления легкового автомобиля модели ВАЗ-2110, суммарный люфт рулевого колеса которого составляет 4,5 град.

ОАО «АвтоВАЗ» устанавливает предельно допустимое значение суммарного люфта в рулевом управлении в 5,0 град. Следовательно, вероятность безотказной работы составит:

$$P = \left(1 - \frac{4,5}{5,0}\right) \cdot 100\% = (1 - 0,9) \cdot 100\% = 10,0\%$$

Расчет вероятности безотказной работы по каждой из систем автомобиля, влияющих на безопасность движения, позволяет установить значение комплексного показателя его надежности.

## 7 Анализ ДТП, связанных с техническим состоянием транспортных средств

### 7.1 Методы изучения аварийности

Непременным условием эффективного управления безопасностью дорожного движения является выявление закономерностей, определяющих влияние различных факторов на возникновение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и тяжесть их последствий.

Закономерности, общие для групп ДТП, но случайные для отдельных ДТП выявляются на основе анализа статистических данных, для чего и создается в масштабах государства система сбора и обработки информации о ДТП.

Классификация основных методов изучения аварийности

Методы изучения причин ДТП	Статистический анализ	Изучение документов	Натурные исследования
Источники информации	Учетная карточка ДТП	Материалы расследования ДТП	Результаты осмотра места ДТП
Способы определения причин ДТП	Индивидуальная оценка	Экспертная оценка. Автотехническая экспертиза	

### 7.2 Понятие, основные виды и причины дорожно-транспортных происшествий

Согласно определению, данному в Правилах учета дорожно-транспортных происшествий, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.06.1995 № 647 (далее - Правила учета ДТП), ДТП - событие, возникающее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, груз, сооружения.

Для квалификации происшествия как дорожно-транспортного необходимо соблюдение следующего условия: участие в событии движущегося транспортного средства и наличие гибели людей, причинения им телесных повреждений или нанесения материального ущерба гражданам или организациям.

В соответствии с принятой классификацией ДТП подразделяют на следующие виды:

**столкновение** - происшествие, при котором движущиеся транспортные средства столкнулись между собой или с подвижным составом железных дорог. К этому виду ДТП относятся также столкновения с внезапно остановившимся транспортным средством (перед светофором, при заторе движения или из-за технической неисправности) и столкновения подвижного состава железных дорог с остановившимся (остановленным) на путях транспортным средством;

**опрокидывание** - происшествие, при котором движущееся транспортное средство потеряло устойчивость и опрокинулось. К этому виду ДТП не относятся опрокидывания, вызванные столкновением механических транспортных средств или наездами на неподвижные предметы;

**наезд на стоящее транспортное средство** - происшествие, при котором движущееся транспортное средство наехало на стоящее транспортное средство, а также прицеп или полуприцеп;

**наезд на неподвижное препятствие** - происшествие, при котором транспортное средство наехало или ударились о неподвижный предмет (опора моста, столб, дерево, ограждение и т.п.);

**наезд на пешехода** - происшествие, при котором транспортное средство наехало на человека или он сам натолкнулся на движущееся механическое транспортное средство, получив травму. К этому виду ДТП относятся также происшествия, при которых пешеходы пострадали от перевозимого транспортным средством груза или предмета (доски, контейнеры, трос и т.п.);

**наезд на велосипедиста** - происшествие, при котором транспортное средство наехало на человека, передвигавшегося на велосипеде (без подвесного двигателя), или он сам натолкнулся на движущееся механическое транспортное средство, получив травму;

**наезд на гужевой транспорт** - происшествие, при котором транспортное средство наехало на упряжных, вьючных, верховых животных, а также на повозки, транспортируемые этими животными, либо упряжные, вьючные, верховые животные или повозки, транспортируемые этими животными, ударились о движущееся транспортное средство;

**наезд на животное** - происшествие, при котором транспортное средство наехало на диких или домашних животных;

**падение пассажира** - происшествие, при котором произошло падение пассажира с движущегося транспортного средства или в салоне (кузове) движущегося транспортного средства в результате резкого изменения скорости или траектории движения и т.п.;

**иной вид ДТП** - происшествие, не относящиеся к указанным выше видам: падение перевозимого груза или отброшенного колесом транспортного средства предмета на человека, животное или другое транспортное средство, наезд транспортного средства на лиц, не являющихся участниками дорожного движения, наезд на внезапно появившееся препятствие (упавший груз, отделившееся колесо и т. п.), сход трамвая с рельсов (не вызвавший столкновения или опрокидывания) и др.

Основы теории надежности и диагностики

По тяжести последствий ДТП делятся на три группы: со смертельным исходом; с телесными повреждениями людей; с материальным ущербом.

Телесные повреждения подразделяют на тяжкие, менее тяжкие и легкие.

Для Российской Федерации характерно следующее среднегодовое распределение ДТП по видам, %:

Наезды транспортных средств:

на пешеходов.....	39...40
препятствие.....	5...5,5
стоящие транспортные средства.....	2,5...3,5
велосипедстов.....	2,5...3,2
Столкновение транспортных средств.....	20...32
Опрокидывание транспортных средств.....	13...19
Иные виды ДТП.....	2

К самым опасным для участников дорожного движения относятся столкновения транспортных средств и наезды на пешехода. На эти виды ДТП приходится почти 70 % общей численности погибших и раненых.

В Российской Федерации ежегодно в 75 % случаев ДТП происходит по вине водителей, а 25 % - по вине пешеходов. Примерно 10 % ДТП происходит из-за неудовлетворительного состояния дорог, **приблизительно 2 % - из-за технических неисправностей транспортных средств**. Превышение суммы 100 % (75 + 25 + 10 + 2) объясняется одновременной регистрацией нескольких причин возникновения ДТП.

Анализ причин ДТП позволяет свести их в следующие однородные по характеру группы:

- несоблюдение правил дорожного движения участниками движения;
- выбор водителями режимов движения, при которых происходит потеря возможности контролировать транспортное средство, в результате чего возникают заносы, опрокидывания, столкновения и т.п.;
- снижение психофизиологических функций участников движения в результате переутомления, болезни, употребления алкогольных напитков, наркотиков, лекарств или под влиянием факторов, способствующих изменению нормального состояния (нездоровый климат на работе или в семье, болезнь близких и т.п.);
- неудовлетворительное техническое состояние транспортных средств;
- неправильное размещение и крепление груза;
- неудовлетворительное устройство и содержание элементов дороги и дорожной инфраструктуры;
- неудовлетворительная организация дорожного движения и др.

Результаты исследований и данные статистики свидетельствуют, что основной причиной совершения водителями ДТП является их недисциплинированность - нарушение правил дорожного движения. Наибольшее число ДТП возникает из-за управления транспортными средствами в нетрезвом

состоянии (почти 25 %), превышение скорости движения (более 17 %), нарушения правил обгона (почти 16 %).

Наиболее типичными причинами ДТП с особо тяжкими последствиями являются нарушение правил обгона (более 45 %), превышение скорости движения (почти 20 %), управление транспортными средствами в нетрезвом состоянии (11 %), нарушение правил маневрирования (9 %), проезда перекрестков (6,5 %), проезда железнодорожных переездов (4,5 %), перевозки людей (до 4 %), несоблюдение дистанции (более 2,5 %), неподчинение сигналам регулирования (до 2 %), переутомление водителя, сон за рулем (до 2 %).

Наиболее часто ДТП происходят в летние и осенние месяцы (с июля по октябрь), когда интенсивность движения на дорогах резко увеличивается. В это время число ДТП в 2 - 3 раза выше, чем зимой. Больше всего ДТП происходит в пятницу и субботу. Наиболее опасны вечерние часы, приблизительно с 17 часов до 21 часа, когда интенсивность транспортных и пешеходных потоков возрастает, освещенность ухудшается, а многие водители находятся в состоянии утомления.

До 80 % ДТП, возникающих из-за неудовлетворительного состояния дороги, являются следствием различных дефектов дорожного покрытия, особенно скользкости и плохого состояния обочин. На некоторых дорогах до 50 % ДТП происходит зимой из-за несвоевременной или неудовлетворительной уборки снега. Чрезвычайно опасным становится движение транспортных средств в периоды оттепели, когда обледенелое покрытие оказывается под слоем талого снега и воды. До 15 % ДТП, связанных с неудовлетворительными дорожными условиями, происходят из-за недостатков в оборудовании дорог дорожными знаками и разметкой, светофорами и ограждениями.

### **7.3 Дорожно-транспортные происшествия, связанные с техническими неисправностями транспортных средств**

Как было отмечено выше, приблизительно 2 % ДТП происходит из-за технических неисправностей транспортных средств. Дорожно-транспортные происшествия, связанные с техническими неисправностями транспортных средств, совершаются в основном из-за неисправностей:

- тормозной системы (приблизительно 30 % случаев);
- осветительных приборов (примерно 25 %);
- рулевого управления (почти 11 %).

Неисправности могут быть связаны с длительностью эксплуатации автомобиля (износ, усталостные разрушения) или некачественным заводским изготовлением и(или) техническим обслуживанием автомобиля.

#### **Контрольные вопросы**

Основы теории надежности и диагностики

1. Связь показателей надежности элементов автомобиля с безопасностью движения. Основные механизмы автомобиля, обеспечивающие безопасность движения.
2. Основные виды ДТП.
3. Неисправности каких систем автомобиля в основном приводят в ДТП?

## 8. Диагностика в системе поддержания технического состояния транспорта и обеспечения безопасности движения

### 8.1 Общие сведения о диагностике

Как уже говорилось в вводной части курса, термин диагностика произошел от греческого *diagnosticos* - способность распознавать.

**Диагностика автомобилей** – определение параметров технического состояния автомобиля (или его элементов) по внешним диагностическим признакам и прогнозирование ресурса безотказной работы.

Диагностика включает в себя:

- контроль технического состояния автомобиля;
- прогнозирование ресурса его безотказной работы;
- составление заключения о необходимых технических воздействиях.

**Контроль** состоит в определении, на основе диагностических сигналов, показателей технического состояния автомобиля и их сравнении с нормативами.

**Прогнозирование ресурса** – это определение возможного пробега автомобиля до достижения им предельного состояния, обусловленного технико-экономической целесообразностью его дальнейшего использования.

**Заключение** включает в себя перечень необходимых работ как ремонтного (по результатам контроля), так и профилактического (по результатам прогнозирования ресурса) характера.

*Техническая диагностика предполагает определение технического состояния объекта и прогнозирования ресурса его работы без разборки изделия по косвенным признакам (шум, люфт, нагрев и т.д.). Для проведения углубленной диагностики отдельных узлов и агрегатов объекта допускается их снятие с автомобиля и диагностирование на специальных стендах, имитирующих рабочие режимы эксплуатации.*

Процесс диагностирования включает:

- измерение диагностических параметров;
- анализ полученной информации и формирование диагноза;
- прогнозирование ресурсов объекта и его элементов.

Схема процесса диагностирования

Первоначально производится общая диагностика. Если диагноз «исправен» - делается прогноз ресурса автомобиля. Если диагноз «неисправен» - производится поэлементная диагностика для выявления причин неисправности.

Измеренные диагностические параметры сравниваются с нормативными. После устранения неисправности прогнозируется ресурс автомобиля, рис. 8.1.

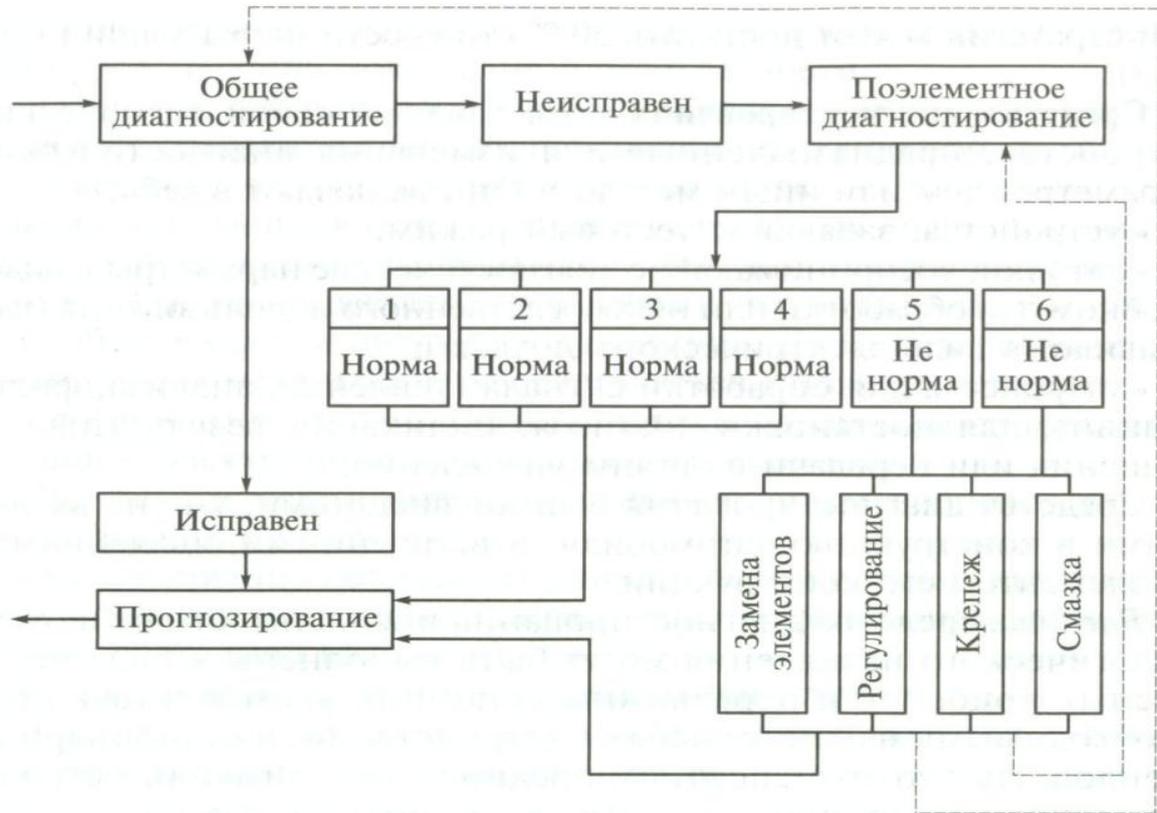


Рисунок 8.1 - Схема процесса диагностирования

Измерение диагностических параметров производится специальными приборами. При этом автомобилю задаются нагрузочные параметры, соответствующие заданным условиям реальной эксплуатации.

Для решения задачи постановки диагноза в случае, когда производится поиск неисправности у сложного механизма, системы и используется несколько диагностических параметров, необходимо на основе данных о надежности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами. Для этой цели в практике диагностирования автомобилей наиболее применяют диагностические матрицы.

**Диагностическая матрица** представляет собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами **S** и возможными неисправностями **A** объекта (рис. 8.2).

Единица в месте пересечения строки и столбца означает возможность существования неисправности, а ноль — отсутствие такой возможности. Применяют также и более сложный вариант вероятностных матриц, в которых на пересечении столбцов и строк вместо единиц и нулей подставляются полученные экспериментальным путем статистические оценки вероятностей возникновения

данной неисправности при достижении диагностическим параметром допустимого или предельного значения.

Диагностические параметры	Возможные неисправности		
	$A_1$	$A_2$	$A_3$
$S_1$	1	0	0
$S_2$	0	1	0
$S_3$	1	0	1
$S_4$	0	1	1

Рисунок 8.2 – Диагностическая матрица

С помощью представленной выше диагностической матрицы решается задача локализации одной из трех возможных неисправностей объекта с помощью четырех диагностических параметров. Физический смысл решения задачи заключается в определении соответствия полученной комбинации диагностических параметров, вышедших за норматив, существованию одной из неисправностей. Так, в рассматриваемом примере имеем: неисправность  $A_1$  возникает в случае одновременного выхода за норматив параметров  $S_1$  и  $S_3$ , неисправность  $A_2$  — параметров  $S_2$  и  $S_4$ , и неисправность  $A_3$  — параметров  $S_3$  и  $S_4$ .

Диагностические матрицы являются основой автоматизированных логических устройств, применяемых в современных средствах технического диагностирования.

## 8.2 Организация диагностирования автомобилей в системе ТО и ремонта

Диагностирование автомобилей является неотъемлемым элементом их ТО и ремонта.

*Входной параметр* – качественная мера воздействия на автомобиль извне: нагрузки, дорожные и климатические условия и др.

*Выходной параметр* – внешнее проявление свойств объекта под воздействием входных параметров.

Методы диагностирования

Методы диагностирования автомобилей, их агрегатов и узлов характеризуются способом измерения и физической сущностью диагностических

Основы теории надежности и диагностики

параметров, наиболее приемлемых для использования в зависимости от задачи диагностирования и глубины постановки диагноза. В настоящее время принято выделять три основные группы методов, классифицированных в зависимости от вида диагностических параметров (рис. 8.3).



Рисунок 8.3 – Классификация методов диагностирования автомобилей

*Первая группа* методов базируется в основном на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля и определении при заданных условиях выходных параметров. Для этих целей используются стенды с беговыми барабанами или параметры определяются непосредственно в процессе работы автомобиля на линии.

*Вторая группа* методов основывается на объективной оценке геометрических параметров в статике, что требует в целом ряде случаев применения динамометров для приложения к диагностируемому сопряжению стандартного усилия при определении зазора (люфта, свободного хода).

*Третья группа* включает в себя методы, оценивающие по герметичности рабочих объемов степень износа цилиндропоршневой группы двигателя, работоспособность пневматического привода тормозов, плотность прилегания клапанов и другое путем создания в контролируемом объеме избыточного давления (опрессовки) или, наоборот, разрежения и в оценке интенсивности падения давления (разрежения).

Методы, оценивающие по интенсивности тепловыделения работу трения сопряженных поверхностей деталей, а также протекание процессов сгорания

Основы теории надежности и диагностики

(например, по температуре выхлопных газов) пока не нашли широкого применения на автомобильном транспорте.

Методы, оценивающие состояние узлов и систем по параметрам колебательных процессов, широко используются при создании средств технического диагностирования автомобилей и их далее можно разделить на три подвида:

- методы, оценивающие колебания напряжения в электрических цепях (на этой основе созданы мотор-тестеры);
- параметры виброакустических сигналов (получаемых при работе зубчатых зацеплений, клапанных механизмов, подшипников и т. д.);
- оценивающие пульсацию давления в трубопроводах (на этой основе созданы дизель-тестеры для диагностирования дизельной топливной аппаратуры).

Определенное место занимают методы, оценивающие по физико-химическому составу отработавших эксплуатационных материалов состояние узлов и агрегатов и отклонения от их нормального функционирования, например простейший экспресс-анализ отработанного масла на загрязнение, сложный спектральный анализ проб масел, в результате проведения которого по наличию и концентрации различных химических элементов в масле можно поставить диагноз работоспособности отдельных узлов и сопряжений агрегата. Если в пробе картерного масла двигателя имеется высокое содержание свинца, это говорит об износе вкладышей шатунных и коренных подшипников, если высокое содержание железа — об износе гильз цилиндров, если высокое содержание кремния — о засорении воздушного фильтра и т. д.

Различают субъективный и объективный поиск отказов.

*Субъективный поиск* основан на опыте оператора и проводится, как правило, без применения инструментальных средств.

*Объективный поиск*, помимо субъективной работы оператора, предусматривает наличие диагностической системы (контрольно-измерительное оборудование), позволяющей получить численные значения диагностируемых параметров. Оценка технического состояния автомобиля производится путем сравнения полученных показателей с их нормативными значениями.

В таблице 8.1 показана классификация методов и видов диагностирования автомобилей на автотранспортных предприятиях.

Таблица 8.1 – Методы диагностирования

Метод диагностирования	Диагностический параметр	Объект диагностирования
1.Субъективные (органолептические):		
визуальный	Утечки жидкостей и газов, дымление, цвет и	Двигатель, системы: топливная, охлаждения,

Основы теории надежности и диагностики

	прозрачность жидкостей и газов, следы коррозии, отслоение покрытия, работоспособность, целостность, трещины и сколы и др.	тормозная и др., кузов, шины, световые приборы и др.
слуховой	Стуки, шумы, скрипы, пiski	Двигатель, трансмиссия, системы: тормозная, ходовая, подвеска, - рулевое управление, кузов и др.
обонятельный	Запах продуктов горения, утечки топлива	Колодки тормозов колес, электрооборудование, топливная система.
осязательный	Место и степень нагрева, источники и уровень вибрации, люфты и зазоры, шероховатость, наличие механических включений в жидкостях и др.	Тормоза колес, ходовая система и подвеска, рулевое управление, коробка передач, задний мост и др.
2.Объективные:		
по функциональным параметрам	Работоспособность, мощность, крутящий момент, частота вращения коленчатого вала двигателя, тормозные силы на колесах, тормозной путь, время торможения, освещенность и распределение освещенности контрольной поверхности др.	Двигатель, тормозная система, рулевое управление, внешние осветительные приборы и др.
по параметрам рабочих процессов	Температура охлаждающей жидкости, состав отработавших газов, давление масла в системе смазки двигателя, удельный расход топлива, сила света ламп фар, плотность электролита, напряжение бортовой сети, зарядный ток и др.	Двигатель, внешние осветительные приборы, система охлаждения, электрооборудование и др.
по параметрам состояния и состава	Температура и место нагрева подшипниковых узлов, дымность газов, загрязненность масел, состав газов, концентрация примесей в масле и др.	Двигатель, коробка передач, редуктор главной передачи, подшипники колес, топливная система и др.
по структурным	Зазоры, люфты, форма	Двигатель, коробка

Основы теории надежности и диагностики

геометрическим параметрам	поверхности, соосность отверстий, углы установки колес и др.	передат, редуктор главной передачи, ходовая часть, рулевое управление и др.
по герметичности рабочих объемов	Компрессия в цилиндрах, количество прорывающихся в картер двигателя отработавших газов давление в шинах, уровень охлаждающей жидкости в бачке и др.	Двигатель, шины, топливный бак, системы: питания, охлаждения, тормозная и др.
по виброакустическим параметрам	Амплитудно-частотные характеристики вибрации, уровень шума.	Двигатель, ходовая часть, коробка передач, редуктор главной передачи, ходовая часть, рулевое управление и др.

### 8.3 Виды диагностики автомобилей

Существуют заводская и эксплуатационная диагностики.

*Заводская диагностика* применяется в основном на автомобилестроительных заводах (или авторемонтных предприятиях) с целью определения качества выпускаемой продукции и ограничивается измерениями числовых значений показателей и сравнением их с показателями, заданными техническими условиями производства, без стадии последующего прогнозирования ресурсов. Диагностика выполняется на специальных стендах (объективный контроль).

*Эксплуатационная диагностика* имеет более широкое применение, проводится в профилактических и оценочных целях и предполагает периодическое субъективное и объективное диагностирование автомобиля и его узлов в процессе эксплуатации с прогнозированием ресурса.

Эксплуатационную диагностику можно классифицировать как:

- общую и поэлементную;
- целевую и совмещенную;
- производственную и дорожную (полевую);
- полную и частичную.

### 8.4 Средства диагностирования

**Средства диагностирования** – технические устройства, предназначенные для измерения диагностических параметров, которые включают в себя:

- устройства, задающие тестовый режим;

Основы теории надежности и диагностики

- датчики;
- устройства для обработки сигнала датчиков и их хранения.

Средства технического диагностирования можно разделить на три вида по их взаимодействию с объектом диагностирования (автомобилем) (рис. 8.4):

- внешние;
- встроенные (бортовые);
- устанавливаемые на автомобиль.

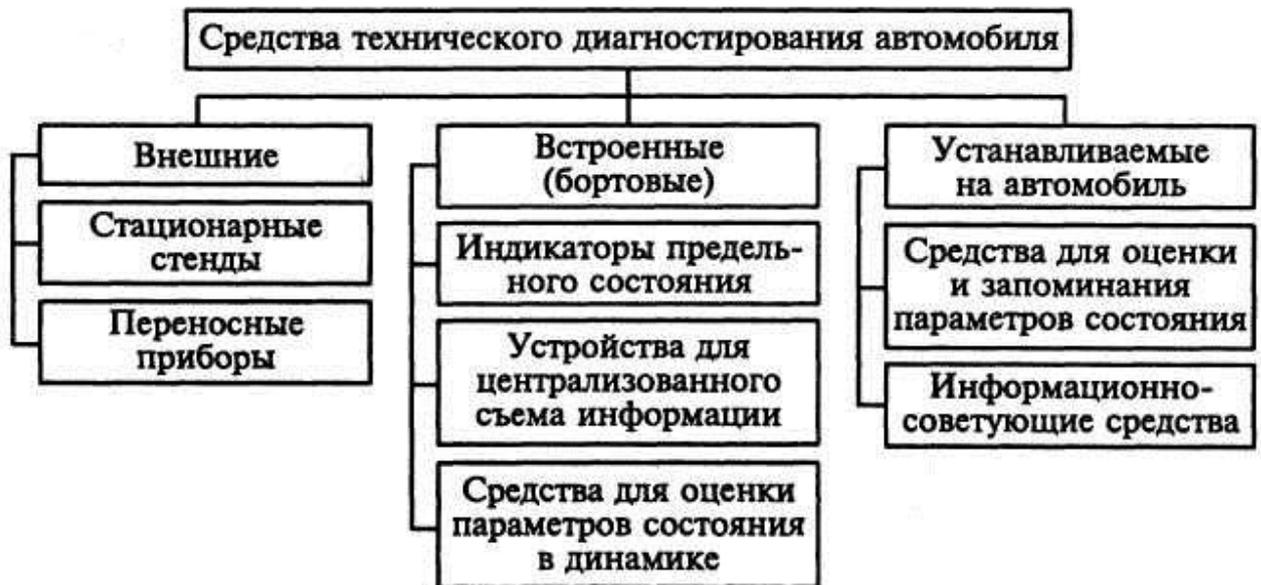


Рисунок 8.4 – Классификация средств технического диагностирования автомобилей

*Внешние средства* диагностирования могут быть выполнены в виде переносных приборов или передвижных станций и стационарными стендами.

*Встроенные средства* диагностирования являются входящими в конструкцию автомобиля датчиками, измерительными приборами, средствами индикации, которые в основном реализованы на щитке приборов водителя.

*Устанавливаемые средства* диагностирования отличаются от встроенных конструктивным исполнением средств обработки, хранения и выдачи информации. Эти элементы выполняются не встроенными в автомобиль, а в виде блока, который устанавливается на автомобиль периодически перед выходом его на линию и снимается в конце смены после возвращения автомобиля в парк.

Основные требования к методам и средствам диагностирования:

- достоверность измерений;
- надежность;
- технологичность;
- экономичность.

## 8.5 Диагностика и безопасность автомобиля

Техническая диагностика осуществляется по ГОСТ 20911 — 89 «Техническая диагностика. Термины и определения»; ГОСТ 27518 — 87 «Диагностирование изделий. Общие требования»; ГОСТ 25044 — 81 «Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения»; ГОСТ Р 51709 – 2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки».

ГОСТ Р 51709 – 2001 распространяется на легковые автомобили, автобусы, грузовые автомобили, прицепы и полуприцепы (далее - автотранспортные средства), эксплуатируемые на дорогах. Стандарт устанавливает:

- требования безопасности к техническому состоянию автотранспортных средств (АТС);
- предельно допустимые значения параметров технического состояния АТС, влияющих на безопасность дорожного движения и состояние окружающей среды;
- методы проверки технического состояния АТС в эксплуатации.

Данный стандарт должен применяться при проверках технического состояния эксплуатируемых АТС по критериям безопасности.

В ГОСТ Р 51709 – 2001 приведены

*требования к:*

- тормозному управлению;
- рулевому управлению;
- внешним световым приборам и светоотражающей маркировке;
- стеклоочистителям и стеклоомывателям;
- шинам и колесам;
- двигателю и его системам;
- прочим элементам конструкции (зеркала заднего вида, замки дверей кузова или кабины, запоры бортов грузовой платформы, запоры горловин цистерн, механизмы регулировки и фиксирующие устройства сидений водителя и пассажиров, звуковой сигнальный прибор, устройство обогрева и обдува ветрового стекла, предусмотренное изготовителем АТС противоугонное устройство, аварийный выключатель дверей и сигнал требования остановки на автобусе, аварийные выходы автобуса и устройства приведения их в действие, приборы внутреннего освещения салона автобуса, привод управления дверями и сигнализация их работы и др.), а также *методы их проверки.*

### 8.5.1 Диагностика тормозной системы

Основным параметром, влияющим на безопасность автомобиля, является исправность тормозной системы. В начале XX века высокий уровень аварийности впервые заставил задуматься о необходимости периодической проверки

состояния тормозной системы автомобиля. Первыми методами диагностики тормозной системы стали дорожные испытания. Но данный метод имеет недостатки, что привело к необходимости проведения стендовых испытаний.

Первый платформенный (площадочный) тормозной стенд был сконструирован англичанами, рис. 8.5 а. Позднее был изобретен роликовый тормозной стенд, позволяющий получить более точные результаты, рис. 8.5 б.

В настоящее время применяются оба вида стендов. Платформенный (площадочный) тормозной стенд обычно применяют при входной экспресс-диагностике на СТО, а роликовый – при углубленной диагностике.

В соответствии с ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» при проведении стендовых испытаний проверяются следующие параметры работы тормозной системы:

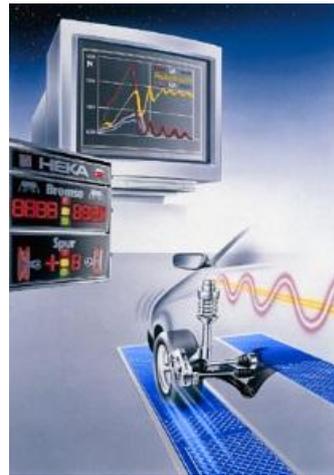
- общая удельная тормозная сила;
- коэффициент неравномерности тормозных сил колес оси; для автопоезда дополнительно:
  - коэффициент совместимости звеньев автопоезда;
  - асинхронность времени срабатывания тормозного привода.

Диагностическим параметром является усилие на рабочем органе привода тормозной системы. В соответствии с ГОСТ каждое измерение производят не менее двух раз.

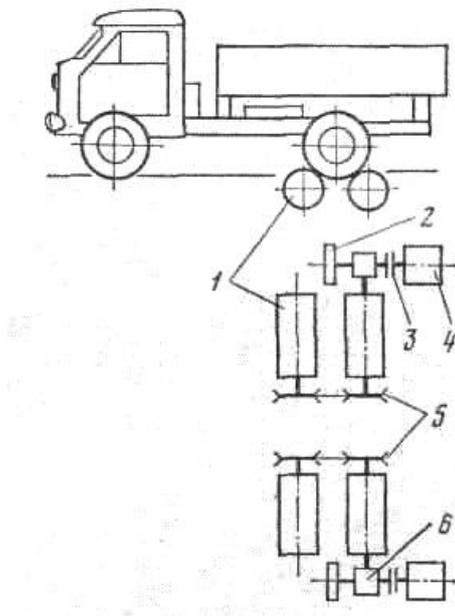
Наиболее эффективны комбинированные электронные стенды динамической проверки автомобилей, например, выпускаемые немецкой фирмой НЕКА, которые обеспечивают измерение тормозных сил рабочей и стояночной тормозных систем, схождения колес обеих осей и дают оценку состояния подвески автомобиля по амплитудам колебаний автомобиля после торможения. Стенд снабжен компьютером с дисплеем и принтером.

В основу работы платформенных стендов динамической проверки автомобилей положен принцип прямого измерения тормозной силы с помощью датчиков, установленных под измерительными платформами или на приводе роликов. Датчики фиксируют силу, приложенную к поверхности платформы при торможении автомобиля, в течение всего времени торможения с интервалом 0,05 с. Полученная информация обрабатывается компьютером, результаты высвечиваются на дисплее и выводятся на печать.

Роликовый тормозной стенд - это блок роликов, на который поочередно каждой осью заезжает автомобиль. Принцип работы инерционного тормозного стенда заключается в принудительном вращении колес одной (диагностируемой) оси автомобиля опорными роликами и измерении сил, возникающих на их поверхности при торможении. Компьютер, к которому подключен тормозной стенд, рассчитывает удельную силу и степень равномерности тормозных сил, сравнивая результаты с нормативными значениями. При этом тормозной стенд дополнительно взвешивает каждую ось, тем самым позволяя рассчитать по фактическому весу тормозную силу. Одновременно измеряется усилие, оказываемое на педаль тормоза, и время срабатывания тормозной системы.



а



б

Рисунок 8.5 - Платформенный и роликовый инерционные стенды: 1 — ролики; 2 — маховик; 3 — соединительная электромагнитная муфта; 4 — электродвигатель; 5 — цепная передача; 6 — редуктор

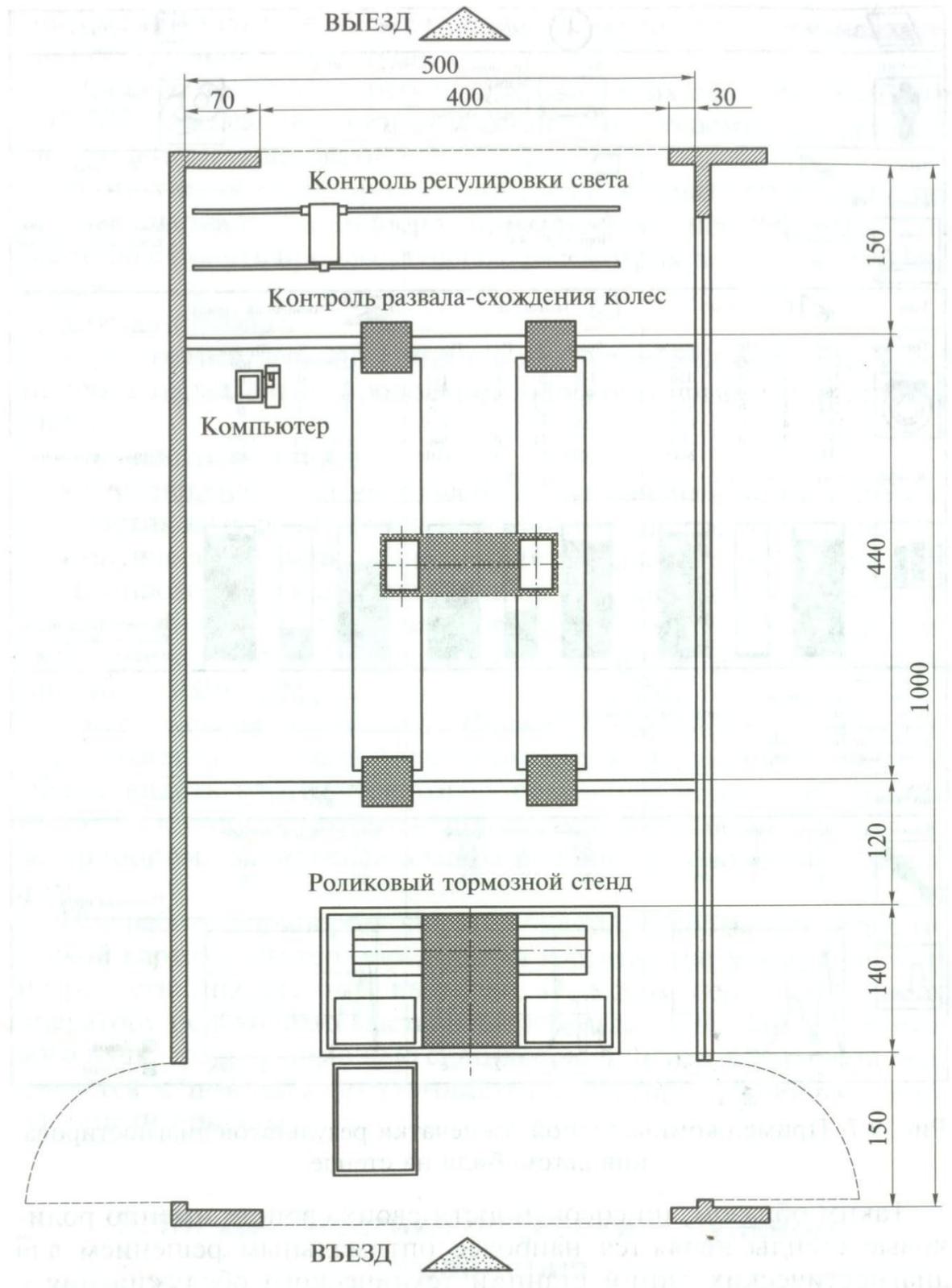


Рисунок 8.6 - Пример компоновки линии диагностики автомобиля

### 8.5.2 Диагностика приборов освещения

Требования к внешним световым приборам приведены в ГОСТ Р 51709-2001, в соответствии с которым проверка регулировки света фар головного освещения должна производиться на вертикальной поверхности с нанесенной специальной разметкой. Но данная технология устарела, является трудоемкой и нетехнологичной, и применима при отсутствии специальных приборов. В современных диагностических центрах диагностика приборов освещения производится с помощью специальных приборов, что делает работу простой и эффективной. Одновременно оценивается сила света фар.

Наиболее распространенными являются приборы с оптической камерой, например, прибор ОП, который используется для проверки и регулировки света фар в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51709-2001, рис. 8.7.

Прибор предназначен для регулировки света фар транспортных средств с высотой установки фар от 250 до 1600 мм в условиях автотранспортных предприятий и СТО. Кроме регулировки углов установки фар прибор позволяет контролировать силу света фар.

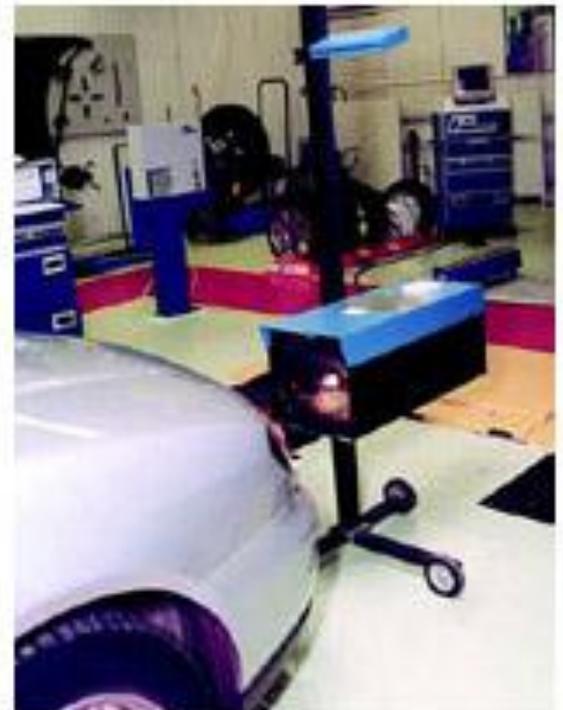


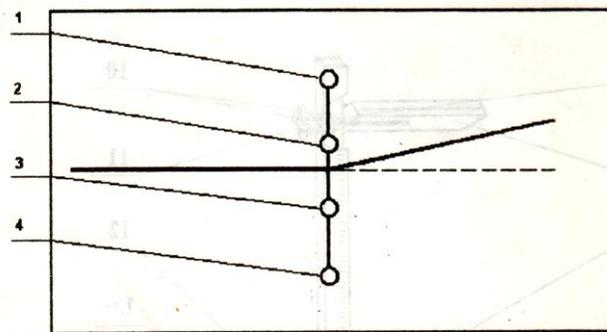
Рисунок 8.7 - Прибор для проверки и регулировки света фар ОП.

Оптическая камера и устройство ориентации расположены на передвижной стойке. В корпусе оптической камеры установлены фокусирующая линза, экран с разметкой и индикатор силы света. На экране установлены фотоэлементы для измерения силы света, рисунок 8.8. Экран перемещается по вертикали

вращением диска отсчета величины снижения светотеневой границы. Высота установки камеры считывается по рискам на стойке. Оптическая ось камеры устанавливается в горизонтальной плоскости по пузырьковому уровню, а параллельно оси автомобиля — при помощи устройства ориентации.

Краткая техническая характеристика прибора:

- Диаметр линзы 250 мм
- Расстояние от фары до линзы 300-400 мм
- Высота оптической оси 250-1600 мм. Угол наклона светотеневой границы 0-140 градусов
- Контроль силы света по калиброванным меткам
- Электропитание — элемент 343 (1,5 В)
- Габариты 665×590×1770 мм
- Масса 35 кг



1-фотоэлемент для измерения силы света противотуманной фары в теневой области пучка света; 2-фотоэлемент для измерения силы дальнего света и силы ближнего света в теневой области пучка света; 3-фотоэлемент для измерения силы ближнего света; 4-фотоэлемент для измерения силы света противотуманной фары в световой области пучка света.

Рисунок 8.8 - Расположение фотоэлементов на подвижном экране оптической камеры прибора

Более современной моделью является прибор ОПК, предназначенный для проверки технического состояния и регулировки внешних световых приборов (фары ближнего и дальнего света, противотуманные фары, габаритные огни, сигналы торможения, указатели поворотов, противотуманный фонарь) с передачей результатов на компьютер.

Результаты измерений выводятся на жидкокристаллический буквенно-цифровой дисплей с подсветкой. Прибор имеет выход для информационной связи с компьютером по интерфейсу RS-232 (может передавать результаты измерений в компьютер линии технического контроля).

Диапазоны измерений:

Угол наклона светотеневой границы 0-140 градусов

Сила света внешних световых приборов 0-100000 кд

Частота следования проблесков указателей поворотов 0-3 Гц

Высота оптической оси 250-1600 мм

Габариты 665x590x1770 мм

Масса 35 кг

В комплект поставки прибора входит аккумулятор 12 В, зарядное устройство, дискета с программным обеспечением, кабель связи с компьютером.

Приборы ОП еще широко распространены в автохозяйствах, но уже сняты с производства. Вместо снятого с производства прибора ОП начато производство прибора ОПК-С, который является модификацией прибора ОПК и отличается от него отсутствием устройства для вывода данных по RS 232 на персональный компьютер.

Последней разработкой в области диагностики световых приборов являются приборы, управляемые микропроцессором. Такие приборы более сложны по конструкции, но проще в работе.

Рассмотрим устройство такого прибора на примере прибора LITE 1.2 (МАХА). Общий вид прибора показан на рис. 8.9.

Встроенная в корпус камера сканирует изображение луча света фары. Установку фар проверяют и регулируют с помощью оптического экрана. Измеренные значения могут быть переданы через специальный разъем на внешний компьютер с соответствующим программным обеспечением.

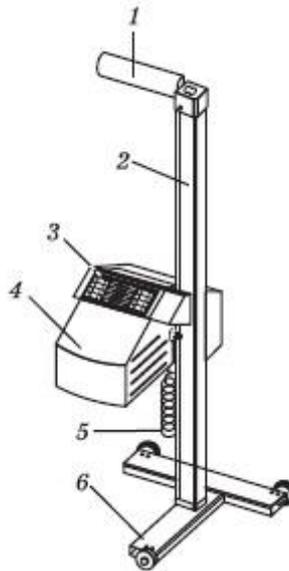


Рисунок 8.9 - Прибор LITE 1.2: 1 — вращающееся направляющее зеркало; 2 — стойка; 3 — панель управления; 4 — оптическая камера; 5 — специальный разъем; 6 — основание стойки

Прибор состоит из стойки, которая представляет собой прецизионный профиль с направляющими. Стойка может вращаться относительно передвижной опоры, что позволяет легко сориентировать прибор по отношению к автомобилю. Для обеспечения совмещения продольной оси оптической камеры с осью положения фар в горизонтальной плоскости имеется специальное ориентирующее приспособление в виде вращающегося направляющего зеркала в верхней части прибора. С помощью этого приспособления прибор устанавливается относительно автомобиля. Для ориентации приспособления используют симметричные относительно средней продольной плоскости элементы автомобиля.

Оптическая камера устанавливается на стойке, по которой она может перемещаться в вертикальном направлении, что обеспечивает возможность совмещения оптической оси линзы с осью отсчета фар по высоте. Стойка закреплена на подвижном основании, благодаря чему прибор является передвижным.

При проверке света фар нажимается соответствующая клавиша на панели управления. После этого камера в корпусе прибора сканирует полученное на проекционном экране распределение света фары. Во время сканирования мигает индикатор измерения. Как только камера воспримет картину распределения света и индикатор перестанет мигать, результаты измерений отображаются с помощью индикаторов направления и силы света, рис. 8.10.

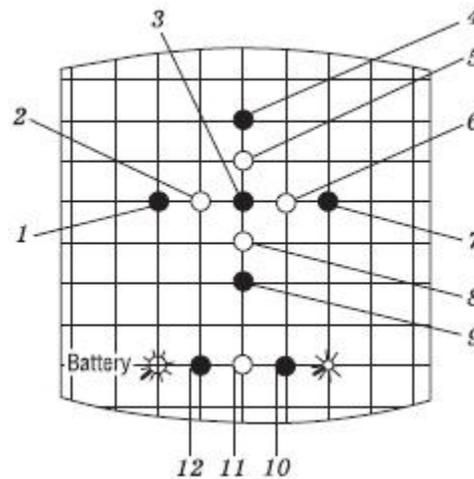


Рисунок 8.10 - Индикаторы направления и силы света фар: 1 — индикатор установки фары «слишком влево»; 2 — индикатор установки фары «влево»; 3 — индикатор правильной установки фары; 4 — индикатор установки фары «слишком высоко»; 5 — индикатор установки фары «высоко»; 6 — индикатор установки фары «вправо»; 7 — индикатор установки фары «слишком вправо»; 8 — индикатор установки фары «низко»; 9 — индикатор установки фары «слишком низко»; 10 — красный светодиод; 11 — желтый светодиод; 12 — зеленый светодиод

В режиме регулировки с помощью указанных индикаторов можно оценить результат и соответственно изменить регулировку фары. Процесс регулировки продолжается до тех пор, пока фара не будет правильно отрегулирована и не загорятся зеленые индикаторы.

На экране монитора высвечиваются результаты проведенных измерений, рис. 8.11:

А — оценка установки направления света фар (слишком влево, влево, слишком вправо, слишком низко, правильно и т.д.)

В — угол наклона световой границы относительно поверхности движения (в процентах) на расстоянии 10 м от фар автомобиля

С — боковой угол  $\alpha$  — это угол между наклонной частью светотеневой границы и горизонтом при асимметричном ближнем свете

Д — угол крена — это угол между левой частью световой границы и горизонтом

Е — положение центра светового пучка дальнего света. Отклонение от центра измеряется в процентах (в качестве исходного расстояния принимается 10 м)

Ф — сила света фар (освещенность измерительного экрана) в люксах. Освещенность приведена к значению на расстоянии 25 м

Измерение света			
A	Ближний свет	Лево вверх	Право
B	Угол наклона	1,2 %	1,2 %
C	Боковой угол	15°	15°
F	Интенсивн.	1,5 люкс	1,5 люкс
A	Дальний свет	Нет данных	Право
E	Центр пуч. гор.	0 %	0 %
F	Центр пуч. верт.	0 %	0 %
F	Интенсивн.	63 люкс	64 люкс
A	Противотуман.	Верх	Верх
B	Угол наклона	2 %	2 %
D	Угол крена	0°	0°
F	Интенсивн.	63 люкс	63 люкс

Рисунок 8.11 - Результаты проверки света фар

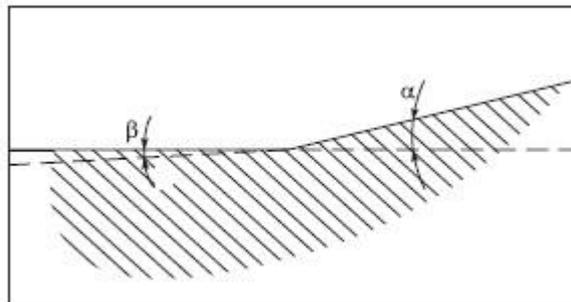


Рисунок 8.12 - Углы светотеневой границы:  $\alpha$  — угол наклона светотеневой границы;  $\beta$  — угол крена

Сила света фонарей (сигналов торможения, габаритных огней, указателей поворотов и аварийной сигнализации и др.) измеряется с помощью пары фотоэлемент — микроамперметр или люксметрами. Некоторые модели приборов для проверки света фар, например ОПК (ГАРО), оснащены устройством для автоматического измерения частоты следования проблесков указателей поворотов.

### 8.5.3 Диагностика подвески и рулевого управления

В состав диагностической линии в обязательном порядке включается устройство для проверки состояния рулевого привода и шарнирных соединений подвески автомобиля. Требования к рулевому управлению автомобиля и методы его проверки регламентированы ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» (пп. 4.2, 5.2). Суммарный люфт в рулевом управлении не должен

## Основы теории надежности и диагностики

превышать предельных значений, установленных изготовителем в эксплуатационной документации, или, при отсутствии данных, регламентированных вышеуказанным ГОСТом.

Суммарный люфт в рулевом управлении не должен превышать предельных значений, установленных изготовителем в эксплуатационной документации, или при отсутствии данных, установленных изготовителем, следующих предельных значений:

легковые автомобили и созданные на базе их агрегатов грузовые автомобили и автобусы - 10°;

автобусы - 20°;

грузовые автомобили - 25°.

Для диагностирования суммарного люфта рулевого управления в автотранспортных предприятиях нашей страны широко применяется прибор ИСЛ-М, рисунок 8.13. Прибор предназначен для измерения суммарного люфта рулевого управления легковых и грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов по началу поворота управляемых колес по ГОСТ Р 51709-2001.

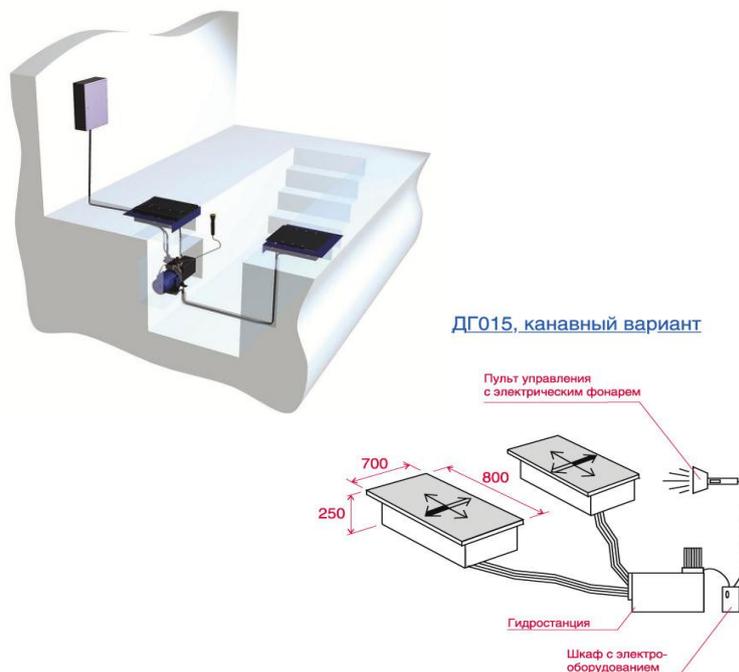
Устройство состоит из двух частей, одна часть крепится на рулевом колесе, другая – на колесе и фиксирует угол поворота рулевого колеса при начале поворота управляемого колеса. При этом положения руля и колес устанавливаются как при прямолинейном движении. Если автомобиль снабжен усилителем рулевого управления, замеры производятся при работающем двигателе. Полученные данные замеров сопоставляются с данными ГОСТа и паспортными данными данного автомобиля (если указаны).



Рисунок 8.13 - Измеритель суммарного люфта рулевого управления ИСЛ-М

Приборы для контроля суммарного люфта рулевого управления дают представление об общем люфте системы. Если параметры общего люфта выходят за нормативные пределы производится поэлементная оценка люфтов всех сочленений рулевого механизма и подвески с применением детекторов люфтов. Детекторы люфтов представляют собой пневматические или электрогидравлические устройства, закрепляемые на колесе. Выявление повышенных люфтов производится визуально при прикладывании к колесу знакопеременных сил. Одним из наиболее распространенных приборов для проверки состояния рулевого привода и шарнирных соединений подвески автомобиля является люфт-детектор ДГ 015, который монтируется на автомобильном подъемнике или смотровой канаве.

Люфт-детектор ДГ 015 предназначен для визуальной и органолептической оценки зазоров в подвеске и рулевом управлении автомобилей с нагрузкой на ось до 16000 кгс. Люфт-детектор состоит из двух подвижных площадок: левой и правой, гидростанции, электрошкафа и пульта-фонаря (рисунок 8.14). В пульт-фонарь (рисунок 8.15) встроены кнопки включения подсветки, переключения режима работы (авто/ручной), управления продольным и поперечным движениями подвижных площадок.



Люфт-детектор ДГ 015, установленный на смотровой канаве



Люфт-детектор ДГ 015, установленный на автомобильном подъемнике

Рисунок 8.14 - Люфт-детектор ДГ 015

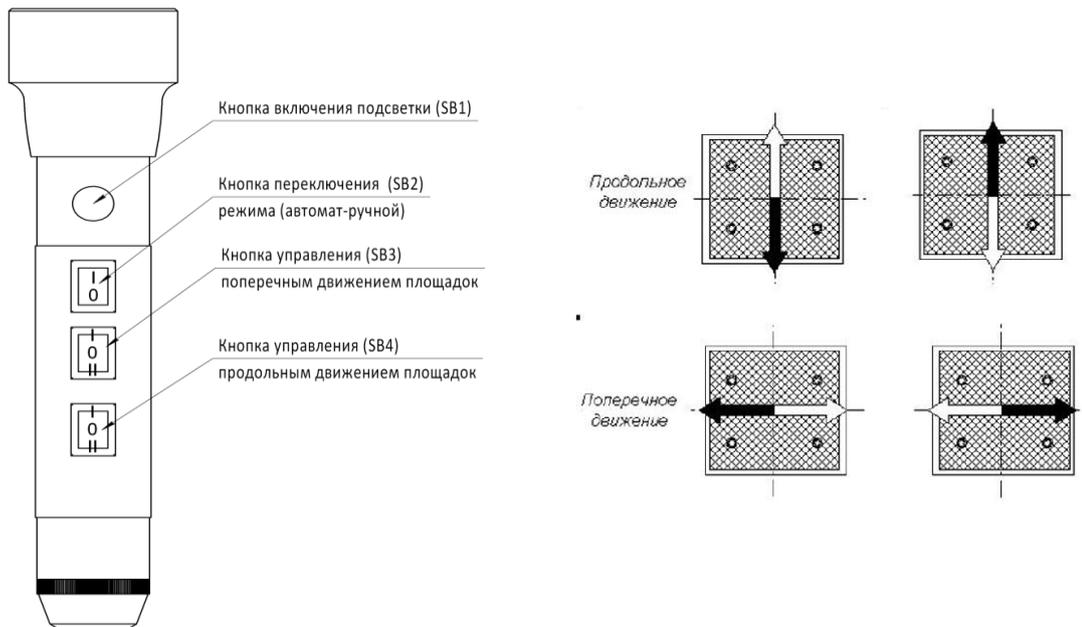


Рисунок 8.15 – Пульт-фонарь и схема движения площадок

## 8.5.4 Диагностика шин и колес

Существенное значение для безопасности дорожного движения имеет состояние шин и колес автомобиля. Требования к шинам и колесам автомобиля и методы их проверки регламентированы ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» (пп. 4.5, 5.5).

Несмотря на простоту данной диагностической процедуры, определению технического состояния шин и колес с целью своевременного выявления признаков их предотказных состояний следует уделить самое серьезное внимание, так как отказы шин и колес могут привести к самым тяжелым последствиям.

При проведении диагностики шин и колес можно выделить две группы диагностических параметров:

1) высота рисунка протектора шин;

2) появление хотя-бы одного индикатора износа; местные повреждения шин (пробои, вздутия, сквозные и несквозные порезы) и отслоения протектора; наличие всех болта или гаек крепления дисков и ободьев колес, а также ослабление их затяжки; наличие трещин на дисках и ободьях колес; видимые нарушения формы и размеров крепежных отверстий в дисках колес.

Диагностический параметр, указанный в первом пункте, проверяют путем измерения остаточной высоты рисунка протектора шин с помощью специальных шаблонов, глубиномера или аналогичных измерительных приборов.

Требования к диагностическим параметрам второй группы проверяют визуально и простукиванием болтовых соединений и деталей крепления дисков и ободьев колес.

## Диагностирование высоты рисунка протектора шин

Диагностирование высоты рисунка протектора шин производят с помощью специальных шаблонов или линейки, глубиномером индикаторным ГИ-100 0,01 МИК (рисунок 8.16) или штангенциркулем с глубиномером (рисунок 8.17).

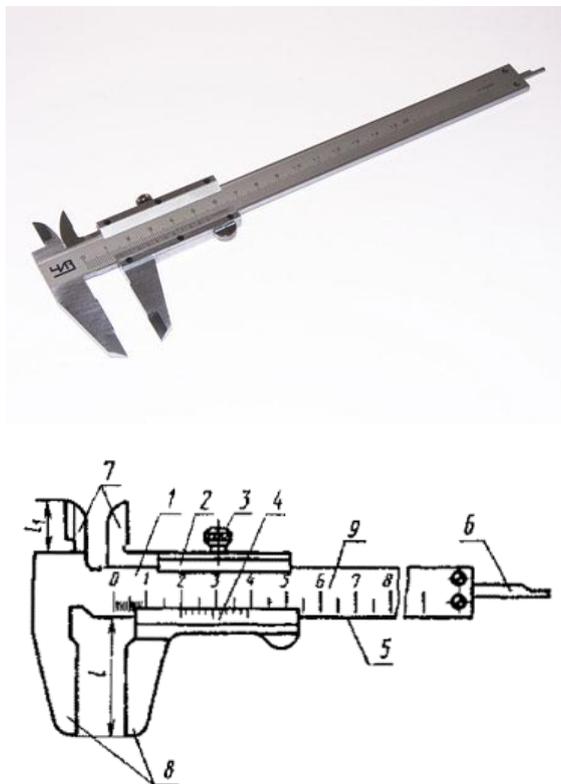
Глубиномер индикаторный ГИ-100 0,01 МИК предназначен для измерения глубины пазов, отверстий и высоты уступов до 100 мм. Оснащен индикатором часового типа ГОСТ 577-68. Диапазон измерения обеспечивается набором сменных измерительных стержней, оснащенных твердым сплавом.



Модель	Диапазон измерений, мм	Цена деления, мм	Диапазон измерения индикатора, мм	Габариты, мм
ГИ 100	0-100	0,01	0-10	100x113x26

Рисунок 8.16 - Глубиномер индикаторный ГИ-100 0,01 МИК

Штангенциркуль с глубиномером ШЦ-1-125-0,05 ГОСТ 166-89 оборудован приспособлением для измерения глубины пазов, отверстий и высоты уступов до 125 мм. Цена деления 0,05 мм.



1 - штанга; 2 - рамка; 3 - зажимающий элемент; 4 - нониус; 5 - рабочая поверхность штанги; 6 - глубиномер; 7 - губки с кромочными измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров; 8 - губки с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 9 - шкала штанги.

Рисунок 8.17 - Штангенциркуль с глубиномером ШЦ-1-125-0,05

Высоту рисунка при равномерном износе протектора шин измеряют на участке, ограниченном прямоугольником, ширина которого не более половины ширины беговой дорожки протектора, а длина равна 1/6 длины окружности шины (соответствует длине дуги, хорда которой равна радиусу шины), расположенным посередине беговой дорожки протектора, а при неравномерном износе - на

нескольких участках с разным износом, суммарная площадь которых имеет такую же величину, рисунок 8.18.

Высоту рисунка измеряют в местах наибольшего износа протектора, но не на участках расположения полумостиков и ступенек у основания рисунка протектора.

Предельный износ шин, имеющих индикаторы износа, фиксируют при равномерном износе рисунка протектора по появлению одного индикатора, а при неравномерном износе - по появлению двух индикаторов в каждом из двух сечений колеса.

Высоту рисунка протектора шин, имеющих сплошное ребро по центру беговой дорожки, измеряют по краям этого ребра.

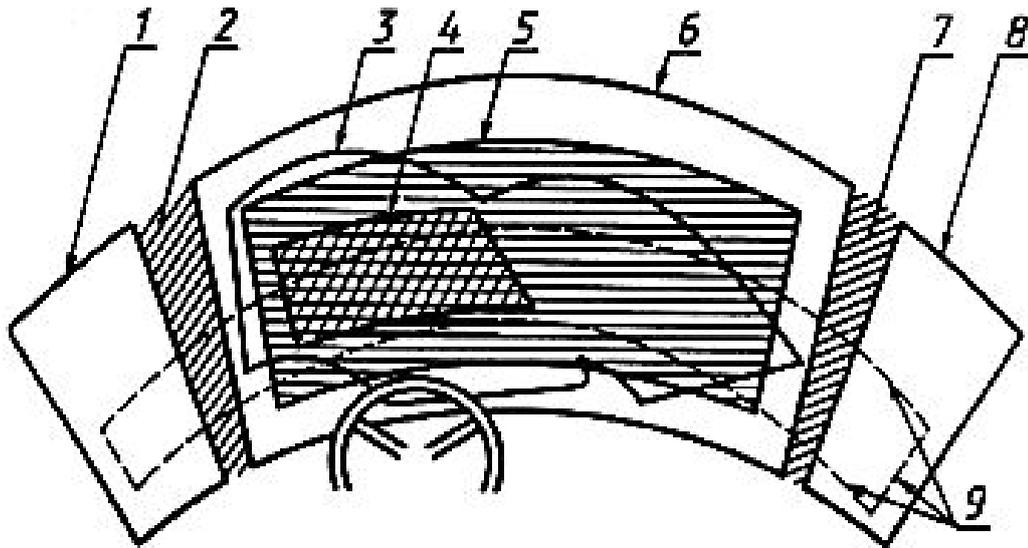
Высоту рисунка протектора шин повышенной проходимости измеряют между грунтозацепами по центру или в местах, наименее удаленных от центра беговой дорожки, но не по уступам у основания грунтозацепов и не по полумостикам.



Рисунок 8.18 – Определение участка для диагностирования износа протектора

#### 8.5.5 Определение светопропускания стекол

Требования к светопропусканию стекол автомобиля приведены в ГОСТ 5727-88 (п. 2.2.4.): светопропускание стекол, обеспечивающих видимость для водителя, должно быть не менее: 75% - для ветровых стекол; 70% - для стекол, не являющихся ветровыми, входящих в нормативное поле обзора П, определяющее переднюю обзорность (см. рисунок 8.19).



Расположение нормативных зон А и В переднего окна и нормативного поля обзора П

- 1 - граница прозрачной части левого бокового окна;
- 2 - левая боковая стойка переднего окна; 3 - контур очистки переднего окна;
- 4 - граница нормативной зоны А; 5 - граница нормативной зоны В;
- 6 - граница прозрачной части переднего окна; 7 - правая боковая стойка переднего окна; 8 - граница прозрачной части правого бокового окна; 9 - следы от плоскостей, являющихся границами нормативного поля обзора П

Рисунок 8.19

Широкое распространение для определения светопропускания стекол получил измеритель светопропускания стекол «Тоник», рисунок 8.20.

Прибор предназначен для определения светопропускания стекол различного назначения, в том числе установленных на транспортных средствах. Принцип определения светопропускания стекол основан на измерении в относительных единицах величины пропускаемого стеклом светового потока относительно общего падающего светового потока.

Функциональная схема прибора приведена на рисунке 8.21.

Световой поток поступает на поверхность фотоприемника. Сигнал фотоприемника через усилитель поступает на аналоговый вход микроконтроллера. Микроконтроллер производит обработку сигнала и осуществляет управление работой прибора в соответствии с программой, записанной в ПЗУ. Осветитель подключается к узлу управления, связанным с микроконтроллером и преобразователем питания. Результаты измерений и

сопроводительная информация отображаются на 4-х разрядном цифровом индикаторе.

Прибор питается от установленного в корпусе аккумулятора. Уровень заряда отражается на индикаторе.

Алгоритм определения светопропускания стекла прибором предусматривает две основные операции:

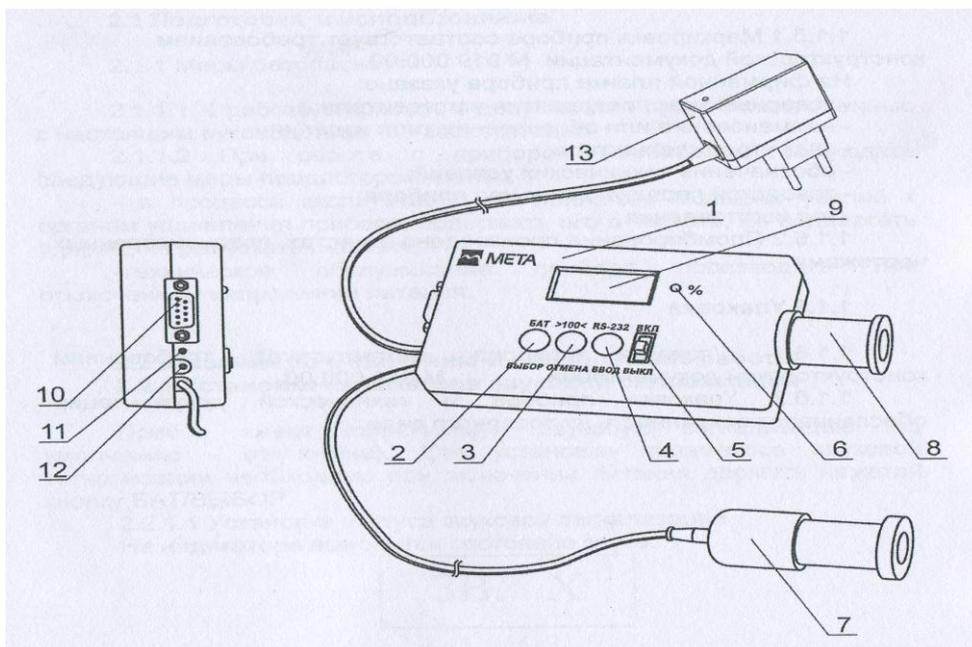
- калибровка уровня 100 % с измерением исходного светового потока  $\Phi_0$  при просвечивании между осветителем и фотоприемником чистого воздуха;

- измерение светового потока  $\Phi_x$ , ослабленного тестируемым стеклом, установленным между осветителем и фотоприемником, с вычислением относительного светопропускания тестируемого стекла  $T$  в процентах от падающего светового потока по формуле

$$T = \Phi_x / \Phi_0 \times 100, \%$$

Прибор состоит из измерительного блока (ИБ), осветителя и зарядного устройства. На боковой поверхности корпуса ИБ установлен узел фотоприемника. Осветитель и фотоприемник имеют метки для облегчения их совмещения при проведении измерений. На лицевой поверхности корпуса размещены индикатор (9), светодиод «%»(6), выключатель питания (5) и кнопки управления. На другой боковой поверхности размещены разъем для кабеля связи (10), индикатор зарядки аккумулятора (11) и разъем для подключения зарядного устройства (12).

Осветитель выполнен в металлическом корпусе и подключен кабелем к ИБ. Внутри корпуса установлен источник света в виде светодиодного излучателя белого свечения.



1-измерительный блок; 2-кнопка БАТ/ВЫБОР; 3-кнопка >100</ОТМЕНА; 4-кнопка RS-232; 5-выключатель питания; 6-светодиод «%»; 7-осветитель; 8-фотоприемник; 9-индикатор; 10-разъем для кабеля связи; 11-индикатор зарядки

аккумулятора; 12-разъем для подключения зарядного устройства; 13-зарядное устройство.

Рисунок 8.20 - Измеритель светопропускания стекол «Тоник»

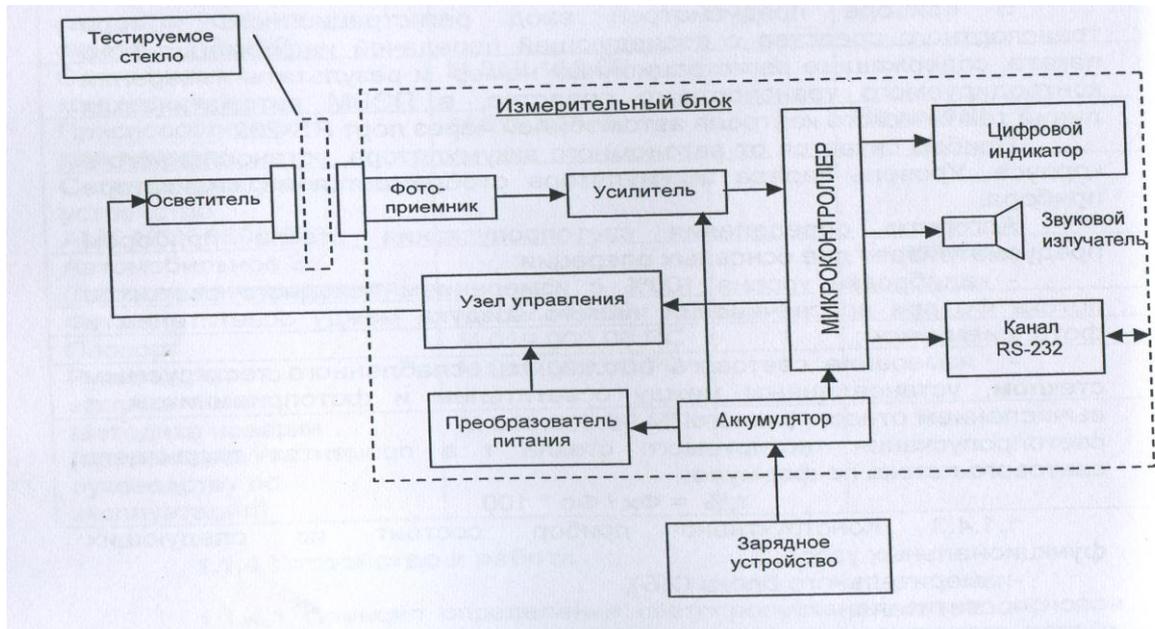


Рисунок 8.21 - Функциональная схема прибора

### 8.5.6 Диагностирование двигателя и его систем

#### 8.5.6.1 Определение содержания загрязняющих веществ в отработавших газах

Определение содержания загрязняющих веществ в отработавших газах производится с помощью специальных приборов – газоанализаторов. В практике диагностирования автомобилей получил распространение Газоанализатор Инфракар М.

Газоанализаторы Инфракар М применяются на станциях автотехобслуживания, в органах автоинспекции, в автохозяйствах при контроле за техническим состоянием бензиновых двигателей и их регулировании.

Газоанализатор Инфракар М (прибор) предназначен для измерения объемной доли оксида углерода (СО), углеводородов (в пересчете на гексан), диоксида углерода (СО<sub>2</sub>), кислорода (О<sub>2</sub>) и оксида азота (NO) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.

В газоанализаторе имеется канал для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателей автомобилей, осуществляется расчет коэффициента избытка воздуха X и расчет оксидов азота (NO<sub>x</sub>). Тахометр предназначен для измерения и отображения в цифровом виде частоты вращения коленчатого вала двух и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания, с

бесконтактной и контактной одноискровой системой зажигания с высоковольтным распределением.

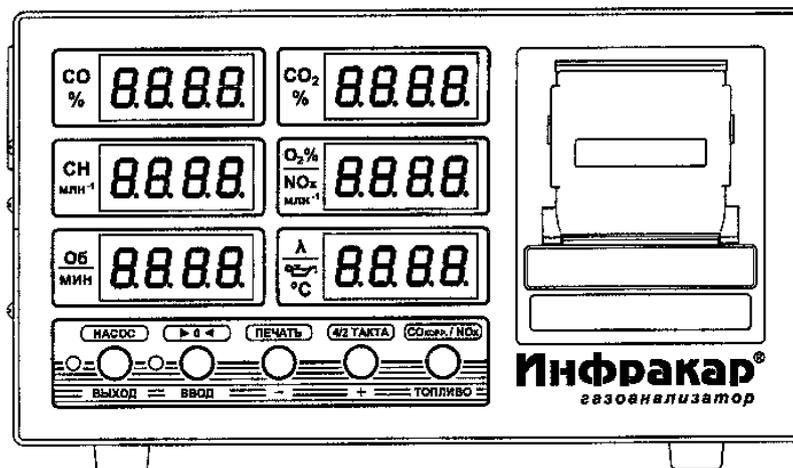
Конструктивно газоанализатор выполнен в металлическом корпусе, предназначенном для установки на горизонтальной поверхности (столе), рисунок 8.22. Прибор состоит из системы пробоотбора и пробоподготовки, блока измерительного (БИ) и блока электронного (БЭ).

Система пробоотбора и пробоподготовки газоанализатора включает газозаборный зонд, пробоотборный шланг, бензиновый фильтр, 2-х камерный насос, клапан пневматический, каплеотбойник, 3 фильтра для газоанализатора (фильтры тонкой очистки). Каплеотбойник в нижней части соединен со штуцером СЛИВ для автоматического слива конденсата побудителем расхода.

Принцип действия датчиков объемной доли (СО, СО<sub>2</sub>, углеводородов) - оптико-абсорбционный. Принцип действия датчиков измерения концентрации кислорода и оксидов азота - электрохимический. Принцип действия датчика частоты вращения коленчатого вала основан на индуктивном методе определения частоты импульсов тока в системе зажигания.

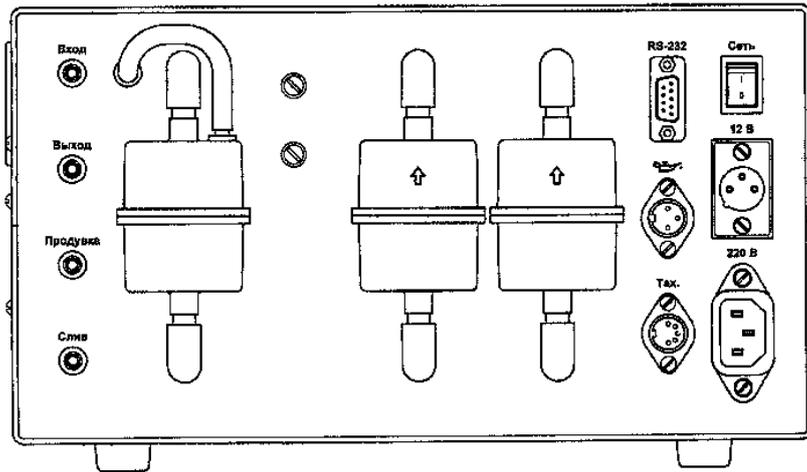
Блок измерительный содержит оптический блок, в котором имеются излучатель, измерительная кювета, 4 пирозлектрических приемника излучения, перед которыми размещены 4 интерференционных фильтра. Оптическая и газовая схема прибора приведены на рисунках 8.23 и 8.24. В измерительном блоке также размещены электрохимические датчики кислорода и оксидов азота.

Блок электронный предназначен для измерения выходных сигналов первичных преобразователей газоанализаторов ИНФРАКАР М, обработки и представлений результатов измерения.



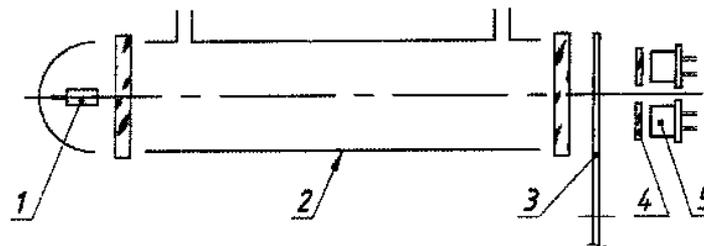
Вид спереди

Основы теории надежности и диагностики



Вид сзади

Рисунок 8.22– Газоанализатор Инфракар М



1-излучатель; 2-кювета; 3-обтюратор; 4-интерференционные фильтры; 5-приемник излучения

Рисунок 8.23 – Схема оптическая

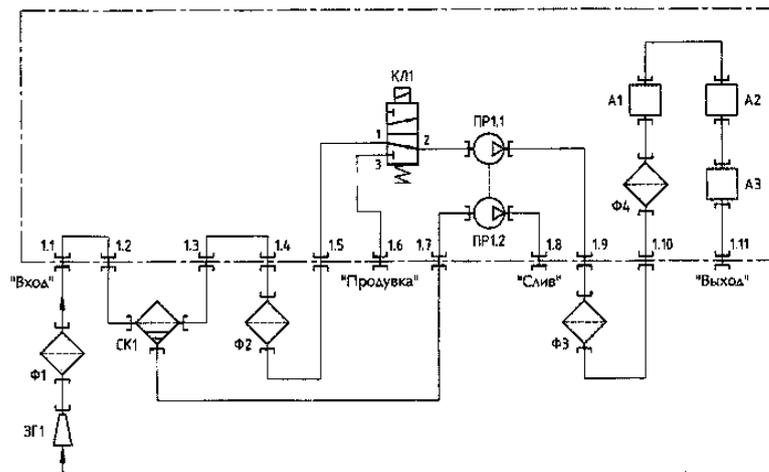


Рисунок 8.24 – Схема газовая

## 8.5.6.2 Определение уровня дымности отработавших газов АТС с дизельными двигателями

Для оценки дымности отработавших газов (далее ОГ) без больших затрат времени применяют прибор для измерения дымности ОГ, называемый дымомер. Дымомер оценивает отработавшие газы на просвет. Непрозрачность ОГ определяется наличием части сажи, несгоревшего топлива, моторного масла и водяного пара (рисунок 8.25).

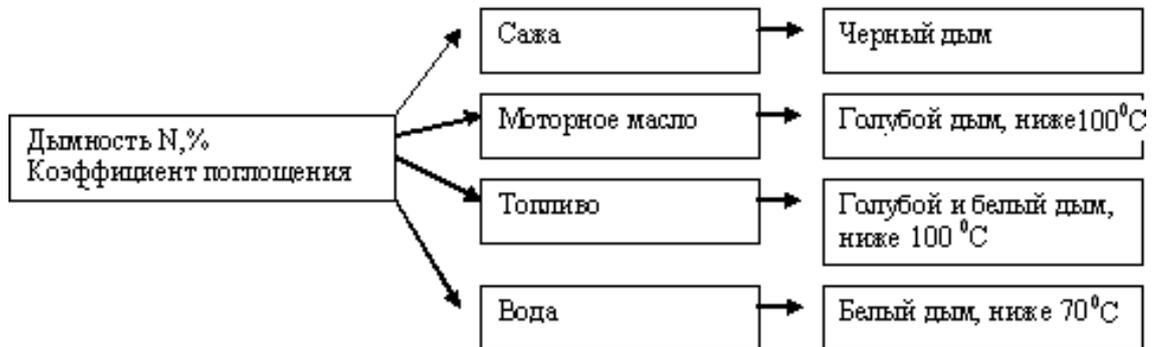


Рисунок 8.25 – Факторы дымности ОГ

Выброс сажи увеличивается с ростом нагрузки на двигатель, сопровождаемым обогащением топливо-воздушной смеси. Граница прекращения дымления соответствует составу смеси при коэффициенте избытка воздуха  $\lambda = 1,2$ . Исправный дизельный двигатель на холостом ходу частиц сажи (твердых частиц) почти не выбрасывает. Усиленный выброс твердых частиц или несгоревшего топлива указывает на нарушения процесса сгорания, вызванные плохой подготовкой топливо-воздушной смеси, например, из-за неисправных распылителей форсунок, ошибочно установленного начала подачи или высокого расхода масла при износе деталей цилиндро-поршневой группы. Нарушения процесса сгорания могут приводить к повышенному дымлению на всех рабочих режимах. Большинство дымомеров позволяют регистрировать изменение непрозрачности ОГ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, обеспечивая возможность поиска неисправности на режимах свободного ускорения.

Поиск неисправности с дымомером хорошо подходит для предварительного определения дефектов, т. к. в течение короткого времени дает направление для дальнейших проверок. Поиск с дымомером позволяет оценивать конечный продукт процесса сгорания и, таким образом, показывает результат как механических дефектов, так и неисправностей в системе топливоподачи. Поиск неисправностей по измерениям дымности ОГ приведен в таблице 8.2.

Основы теории надежности и диагностики

Таблица 8.2 - Поиск неисправностей по измерению дымности ОГ: «Н» - нормальная величина, «+» - высокое значение, «-» - низкое значение

Мощность двигателя	Величина дымности			Возможная причина
	холостой ход	полная нагрузка	обороты регулятора	
+	Н	+	Н	Слишком большая подача на полной нагрузке и частота вращения регулятора
-	Н	-	н	Слишком низкие величина подачи и давления наддува, блок управления в аварийном режиме, неисправен измеритель расхода воздуха
Н (-)	Н	+	Н	Неисправность в системе рециркуляции, загрязнен воздушный фильтр, неисправен турбокомпрессор
-	Н	+	Н	Ранее начало подачи, жесткий шум сгорания
-	+	+	Н	Позднее начало подачи
-	Н	Н (+)	+	Неисправный механизм опережения впрыска
-	+	+	+	Дефектный распылитель, стук процесса
-	+	+	+	Заправка плохим топливом
Н	+	+	+	Перерасход масла (голубой дым). Неисправность двигателя или турбокомпрессора

Для определения дымности ОГ широко применяется прибор МЭТА-01МП 0.1 (прибор).

Прибор предназначен для экспрессного измерения дымности отработавших газов автомобилей, тракторов, а также других транспортных средств и стационарных установок, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия. Результат измерений представляется в единицах коэффициента поглощения (натурального показателя ослабления)  $[m^{-1}]$  и в единицах коэффициента ослабления (%) по ГОСТ Р 52160-2003 и ГОСТ Р 41.24-2003 (Правила ЕЭК ООН №24).

Прибор позволяет проводить измерение дымности автомобилей, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия по ГОСТ Р 52160-2003 в режиме регистрация пикового (максимального) значения дымности в режиме свободного ускорения двигателя. Возможно измерение в дополнительном режиме: регистрация текущего значения дымности в режиме максимального числа оборотов вала двигателя.

Принцип работы прибора основан на измерении величины поглощения светового потока и температуры анализируемого газа в мерном объеме и преобразовании аналитических сигналов к единицам коэффициента поглощения.

В приборе предусмотрены:

- индикация условий измерения: атмосферного давления и температуры окружающего воздуха;

Основы теории надежности и диагностики

- автоматическая регистрация и хранение пиковых значений дымности в цикле до 10-ти ускорений двигателя, выбор четырех последних значений и вычисление среднего значения;
- измерение и автоматическая коррекция показаний по температуре отработавших газов;
- автоматическая коррекция нуля;
- вывод результатов измерения дымности в выбранном режиме в виде протокола на печатающее устройство или в базу данных компьютера (в зависимости от модификации);
- сохранение во внутренней памяти данных до 40 результатов одиночных измерений дымности ТС с возможностью их вывода в виде протокола на печатающее устройство или в базу данных компьютера (в зависимости от модификации). Данные сохраняются не менее пяти суток при отключенном питании приборного блока;
- часы реального времени (в зависимости от модификации); установки времени и даты сохраняются не менее пяти суток при отключенном питании приборного блока;
- контроль снижения напряжения батареи питания сверх предельного значения;
- защита оптических элементов от загрязнений типа "воздушная завеса" (в зависимости от модификации).

Функциональная схема прибора, поясняющая принцип действия, приведена на рисунке 8.26.

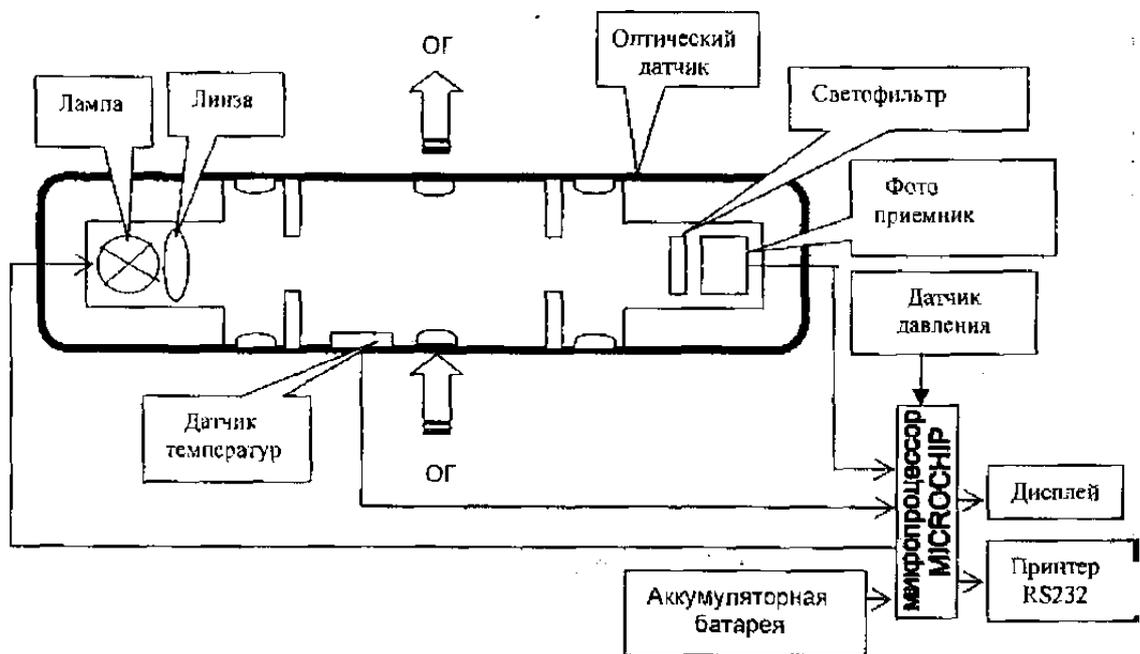


Рисунок 8.26 – Функциональная схема прибора

Прибор выполнен в виде переносного прибора, состоящего из приборного блока, оптического датчика и пробозаборника (рисунок 8.27).

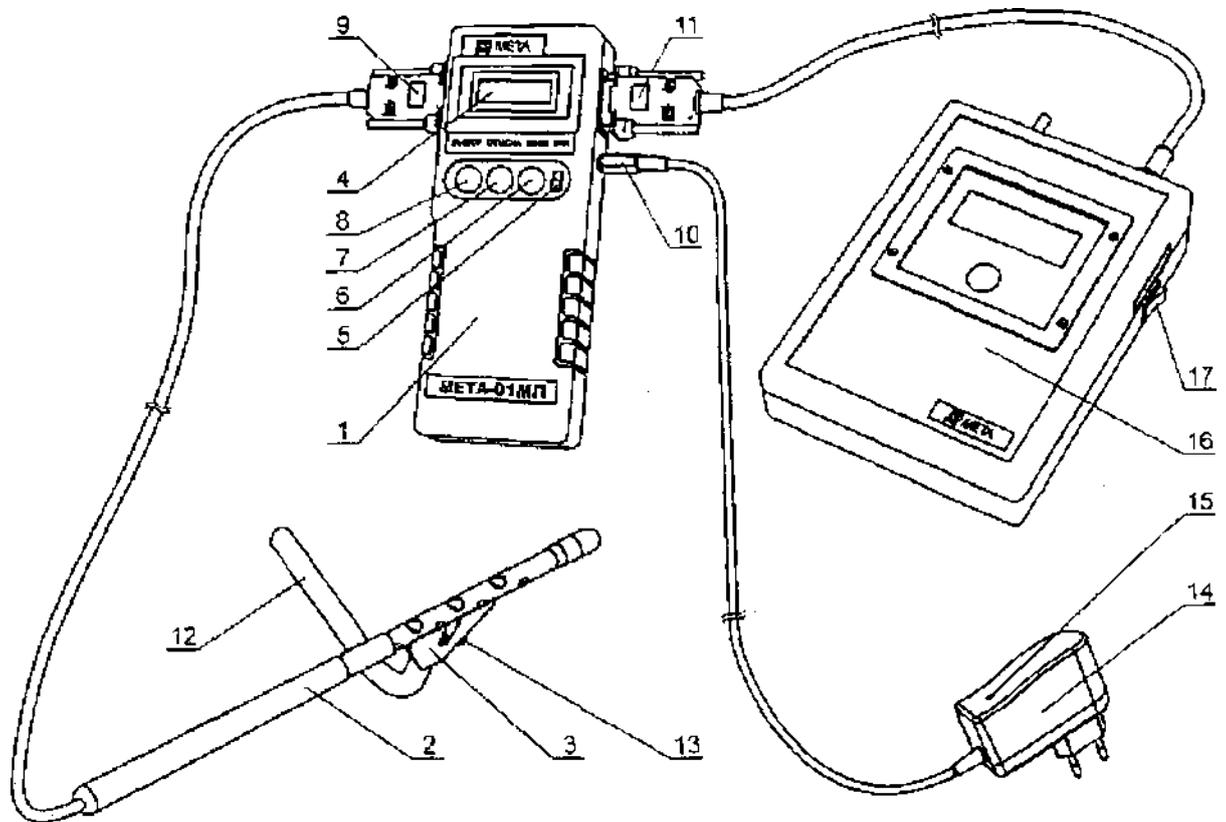


Рисунок 8.27 – Состав прибора

### 8.5.6.3 Определение уровня шума выпускной системы двигателя

Шум - одна из форм загрязнения окружающей среды. Увеличение шума выше природного уровня отрицательно сказывается на здоровье человека: повышается утомляемость, снижается умственная активность, возникают неврозы.

В европейских странах к средствам транспорта предъявлены жесткие требования по ограничению шума. Еще в 1971 г. в Великобритании при разработке проекта малозумных тяжелых автотранспортных средств было рекомендовано исходить из нормативного уровня шума 80 дБ. В Российской Федерации требования к внешнему шуму автомобилей при эксплуатации и порядок проведения диагностирования приведены в ГОСТ 52231-2004.

В таблице 8.3 приведен перечень основных неисправностей автомобиля, вызывающих повышенный уровень шума.

Таблица 8.3 – Основные неисправности автомобиля вызывающие повышенный шум

Элементы автомобиля	Перечень неисправностей
Элементы системы впуска	Неполная комплектация системы впуска, повреждение или дефект монтажа системы впуска, вызывающие подсос воздуха
Элементы системы выпуска	Неполная комплектация системы выпуска, повреждение или дефект монтажа системы выпуска, вызывающие утечку отработав ших газов и/или подсос воздуха
Дополнительные устройства для снижения шума (напри мер, капсулы, экраны)	Отсутствие или неполная комплектация дополнительных устройств

Для измерения уровня шума выпускной системы двигателя используют шумомеры первого (второго) класса по ГОСТ Р 53188.1. Широкое распространение в диагностике уровня шумового загрязнения получил цифровой шумомер testo 816 (рисунок 8.28).

Цифровой шумомер testo 816 (прибор) предназначен для высокоточных измерений уровня шума различного происхождения в широком диапазоне частот.



1. Микрофон.
2. Вкл. / Выкл.
3. Дисплей.
4. Левая кнопка.
5. Правая кнопка.
6. Разъем USB.
7. Разъем для гарнитуры (стерео, 2.5 мм).

Рисунок 8.28 – Общий вид прибора testo-816

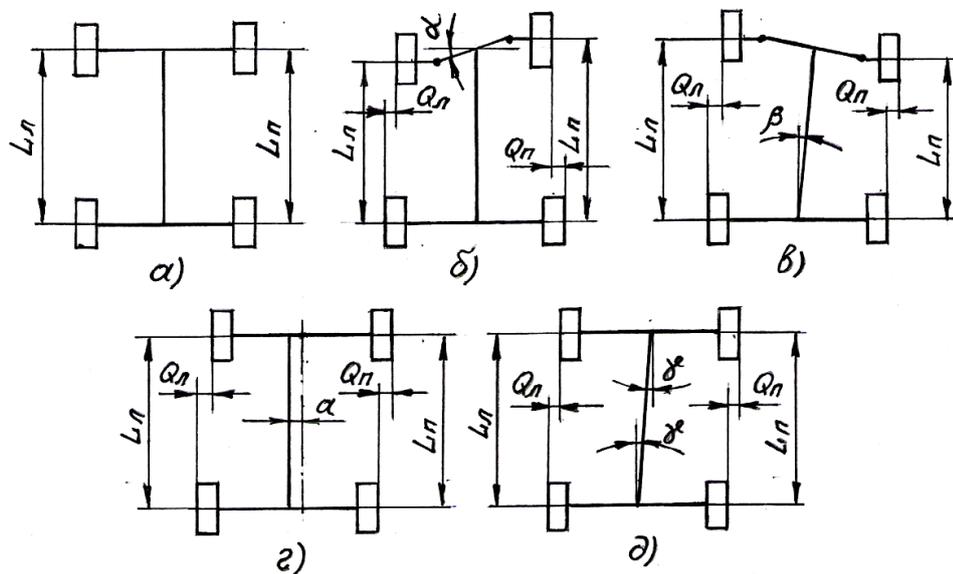
Измерение уровня шума производят по ГОСТ Р 52231-2004.

8.5.7 Диагностирование установки управляемых колес

Существенную роль в повышении эффективности эксплуатации автомобилей играет оптимальная установка управляемых колес. Из-за несоблюдения заданных углов установки колес срок службы шин снижается в 1,5...2 раза, ухудшается управляемость автомобиля.

Установку колес проверяют по углам схождения и развала управляемых колес, углам продольных и поперечных наклонов оси поворота управляемых колес, по соотношению (разности) углов развала правого и левого колес и соотношению углов поворота управляемых колес.

В настоящее время серьезное внимание уделяют проверке взаимного расположения мостов по параметрам перекоса и параллельного относительного их смещения. Возможные варианты смещения мостов автомобилей приведены на рисунке 8.29.



а) нормальное расположение мостов; б) угловое смещение передней балки; в) угловое смещение передней балки и рамы; г) боковое смещение мостов; д) перекос рамы.

Рисунок 8.29 - Возможные варианты смещения мостов автомобилей.

Угловое смещение мостов оказывает влияние на стабилизацию управляемых колес и изнашивание шин, а боковое смещение мостов в основном на сопротивление качению колес автомобиля. В результате смещений возрастает до 30% мощность, затрачиваемая на движение автомобиля. В то же время увеличиваются потери мощности в ходовой части автомобиля примерно на 10...12%.

Стенды для проверки углов установки колес автомобиля классифицируют на *статические и динамические*.

*Статические стенды* предназначены для проверки углов установки колес, находящихся в состоянии покоя.

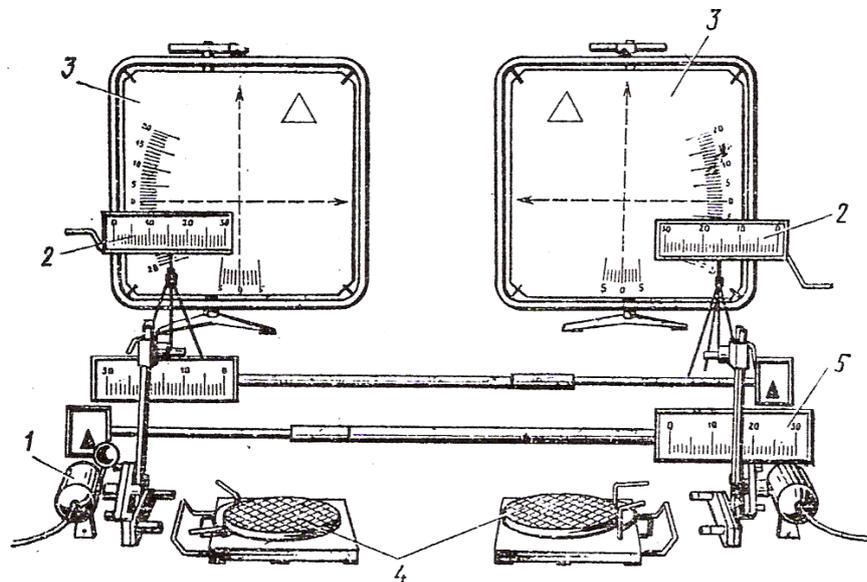
*Динамические стенды* предназначены для оценки тех же параметров на вращающихся колесах измерением прямых или косвенных параметров.

Статические стенды:

- механические;
- оптические;
- электронные;
- электромеханические;
- электрооптические.

Из числа оптических и электрооптических стендов широко применяют стенды 1119М, К-111, К-610, ПКО-1, ПКО-4, РК-1.

Оптический стенд ПКО-4 (рисунок 8.30) предназначен для контроля углов установки колес автомобилей с ободами диаметром до 18 дюймов. Пределы измерений: углов развала – (-5...+5) градусов; схождения – (0...30) мм; угол продольного и поперечного наклона оси поворотного шкворня – (-20...+20) градусов; углов поворота колес (- 20...+20) градусов. Погрешность измерения углов развала и оси шкворня составляет  $\pm 15'$ , схождения  $\pm 0,5$  мм, углов поворота колес  $\pm 30'$ .



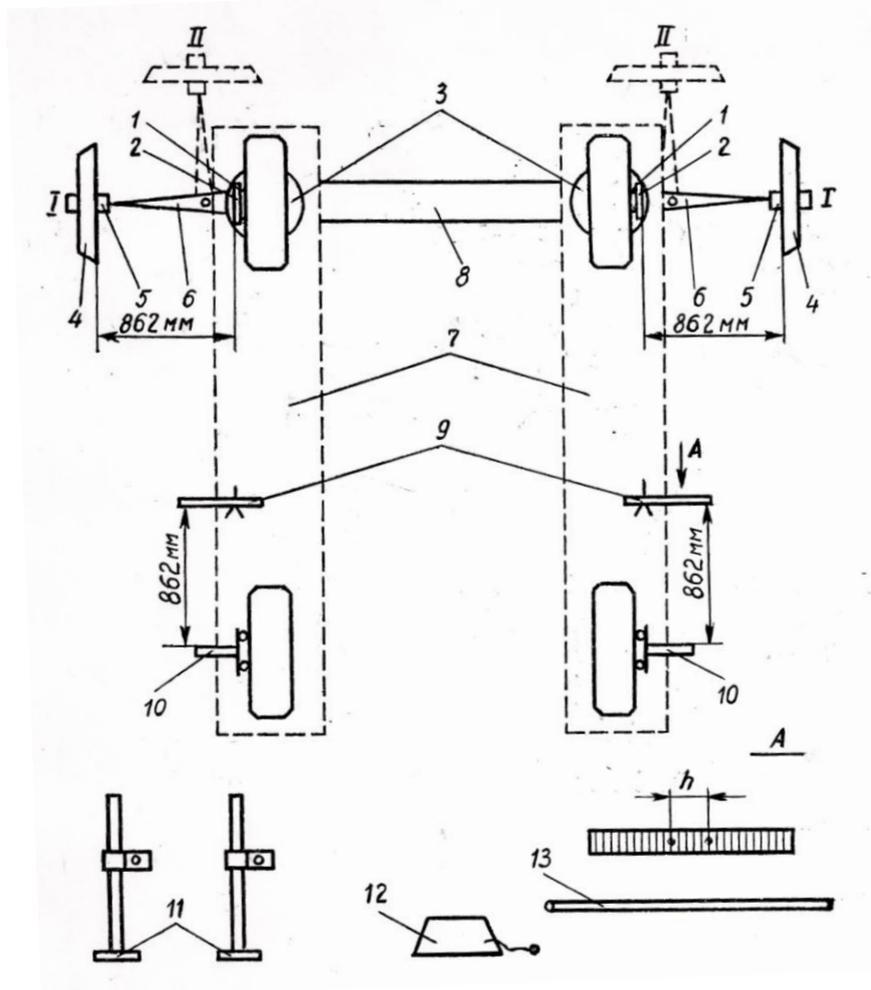
1- проектор; 2- стойка; 3- проекционный экран; 4- поворотный круг; 5- раздвижные штанги.

Рисунок 8.30 – Стенд ПКО-4

Автомобиль устанавливается таким образом, чтобы передние колеса были посередине опорных дисков поворотных кругов. После установки необходимо затормозить задние колеса автомобиля. Закрепить проекторы на ободах передних

колес проверяемого автомобиля. При проверке углов развала колес и углов поперечного наклона шкворня экраны устанавливаются параллельно передней оси перед колесами на расстоянии 1200 мм от центра дисков поворотных кругов. При измерении углов продольного наклона шкворня экраны устанавливаются сбоку автомобиля параллельно продольной оси автомобиля на расстоянии 1200 мм от центра дисков поворотных кругов. Измерение схождения колес осуществляется по шкалам раздвижных штанг, установленных на соответствующем расстоянии по обеим сторонам передних колес.

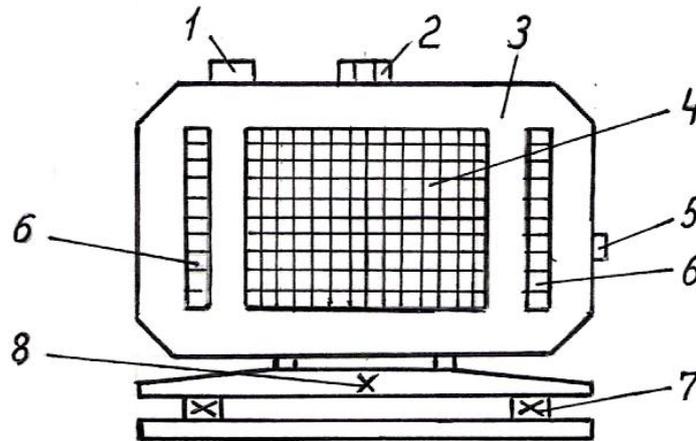
Перспективным является электрооптический стенд с лазерным излучателем (рисунок 8.31).



1 – держатели (кронштейны) зеркала, 2 – зеркала, 3 – поворотные круги, 4 – направляющие блока контроля углов (БКУ), 5 – направляющие блока контроля углов (БКУ), 6 – поворотные кронштейны, 7 – трап подъемника, 8 – подъемные устройства, 9 – полупрозрачные экраны, 10 – держатели с зеркалом для проверки перекаса и параллельного смещения мостов, 11 – юстировочные штанги, 12 – преобразователь напряжения, 13 – юстировочная линейка, 4 – БКУ.

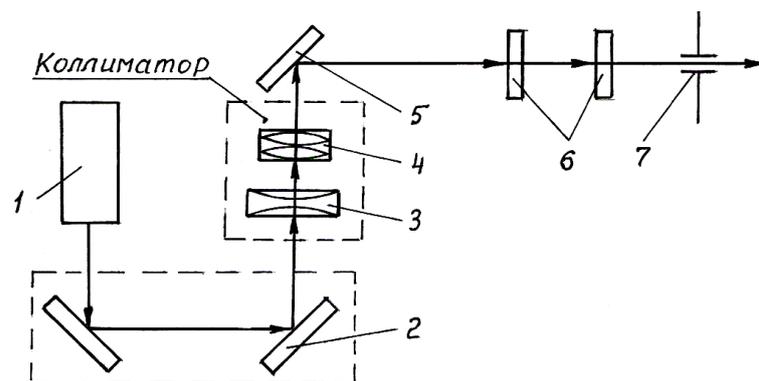
Рисунок 8.31 - Составные элементы лазерного стенда для проверки углов установки колес автомобилей

Основным элементом станда является блок контроля углов (БКУ), который предназначен для формирования пучка лазерного излучения и определения углов установки колес (рисунок 8.32). Для этого на экране 4 нанесены вертикальные и горизонтальные шкалы отсчета углов схождения и развала с 5-минутной ценой деления; две шкалы 6 для отсчета углов продольного и поперечного наклонов осей поворота колес также с 5-минутной ценой деления. БКУ снабжен гидростатическим уровнем 1, регулировочными винтами 7,8,2 для ориентации блока в пространстве и винтами регулировки направления лазерного луча.



1 – гидростатический уровень, 2,7,8 – винты регулирования ориентации блока в пространстве, 3 – лицевая панель, 4 – экран, 5 – выключатель, 6 – шкалы для отсчета углов продольного и поперечного наклона осей поворота колес.

Рисунок 8.32 - Общий вид БКУ



1 – излучатель, 2 – поворотные зеркала, 3 – отрицательная линза, 4 – объектив, 5 – плоское зеркало, 6 – ослабитель, 7 – диафрагма экрана.

Рисунок 8.33 - Оптическая схема БКУ

Лазерный луч от излучателя 1 через два поворотных зеркала 2 и коллиматор проходит через плоское зеркало 5, регулируемый ослабитель 6 и через диафрагму 7 выходит наружу. Плоское зеркало 5 крепится в юстировочной головке, регулируемой с помощью двух винтов, выведенных на заднюю панель БКУ.

Контрольные измерения на стенде проводят в следующем порядке:

- устанавливают автомобиль на стенд строго параллельно по продольной оси (отклонение  $\pm 5^\circ$ );

- на каждое колесо устанавливают держатели с зеркалами при вывешенной передней оси автомобиля (центры зеркал должны находиться по центру колес). С помощью трех винтов каждое зеркало выверяют на параллельность диску колеса, так чтобы при вращении его рукой отраженный от зеркала лазерный луч попадал в какой-то 5-ти минутный квадрат БКУ и не выходил за его пределы.

Измерение параметров установки колес производится при постоянном (для разных моделей автомобилей) расстоянии между экраном БКУ и установленном на колесе зеркалом. Это расстояние равно 862 мм и задается по линейному шаблону перемещением камеры БКУ по специальным предусмотренным направляющим.

Для измерения схождения поворотом одного из колес пятно лазерного луча совмещают с центральной вертикальной линией шкалы соответствующей БКУ, а по положению пятна лазерного луча на горизонтальной оси второго БКУ определяют угол схождения колес. Аналогично определяют угол развала, но по положению пятна лазерного луча относительно вертикальной оси шкал БКУ.

Для измерения продольного угла наклона оси поворота одно из колес поворачивают так, чтобы лазерный луч попал на одну из шкал измерения развала. Это показание фиксируют. Затем колесо поворачивают до момента, когда лазерный луч появится на противоположной стороне (от центра БКУ) шкалы развала.

Аналогично по разнице показаний определяют продольный угол наклона поворота колеса, но в положении II, когда БКУ расположены спереди автомобиля.

Измерение перекоса мостов осуществляют в положении II и на расстояниях от полупрозрачных экранов до центральной оси заднего моста, равных 862 мм. Угол перекоса мостов определяют по расстоянию  $h$  между пятном входа и обратной проекцией луча на полупрозрачном экране, причем измерение проводят для обоих колес заднего моста автомобиля.

Для измерения параллельного смещения мостов полупрозрачные экраны устанавливают по центру дисков переднего и заднего колес проверяемого автомобиля. Параллельное смещение определяют по разности показаний на переднем и заднем экранах с учетом ширины колес автомобиля.

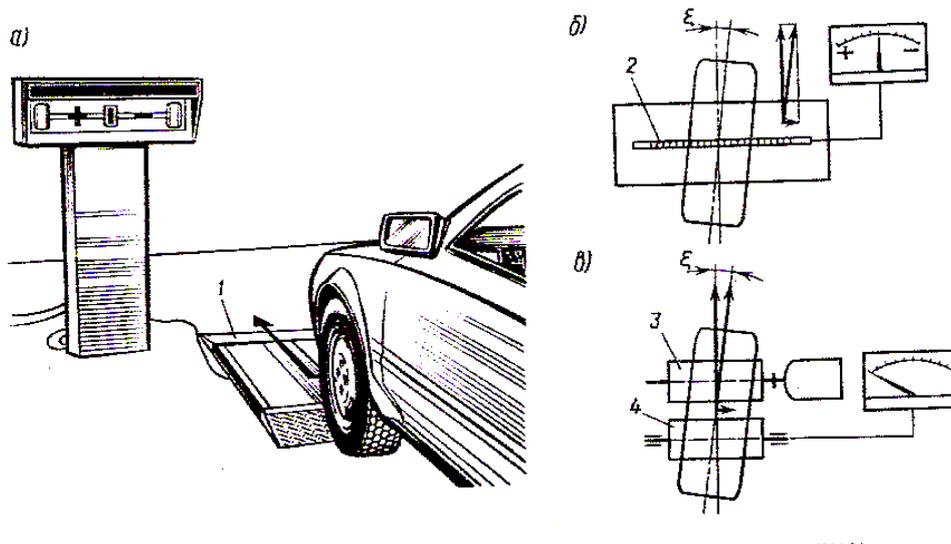
#### *Динамические стенды.*

С помощью этих стендов измеряют косвенные параметры (смещения или силы) при контакте шин вращающихся колес неподвижного автомобиля с опорной

поверхностью или при проезде автомобиля через стенд. Эти параметры относят к комплексным, так как они зависят как от схождения, так и от развала колес.

Проездные платформенные или реечные стенды для проверки углов установки колес (рисунок 8.34) предназначены для экспресс-диагностирования геометрического положения автомобильного колеса по наличию или отсутствию в пятне контакта боковой силы. Когда углы установки колес не соответствуют норме, в пятне контакта возникает боковая сила, которая воздействует на платформу (рейку) и смещает ее в поперечном направлении. Смещение регистрируется на измерительном устройстве. Какой угол установки колес надо регулировать, данные стенды не указывают. При необходимости проверку углов установки колес проводят на статическом стенде.

Платформенные стенды устанавливают под одну колесо автомобиля, реечные – под две. Автомобиль проезжает через стенд со скоростью 5 км/ч.



- а) проездной платформенный стенд; б) схема проездного реечного стенда; в) схема стенда с беговыми барабанами;  
 1- платформа поперечного перемещения; 2- рейка поперечного перемещения; 3- ведущий барабан; 4- ведомый барабан.

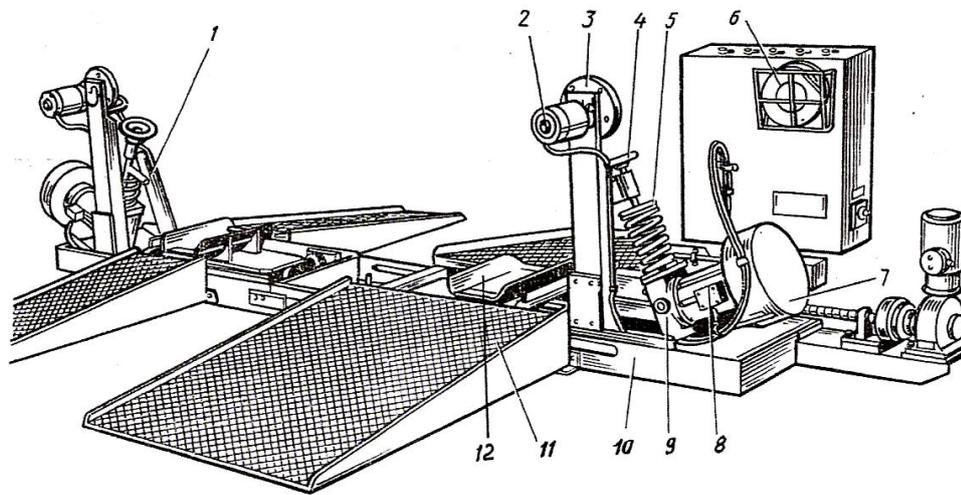
Рисунок 8.34 – Средства контроля углов установки колес в динамическом режиме

Стенды барабанного типа предназначены для экспресс-диагностики установки управляемых колес легковых автомобилей по боковому уводу. Для измерения боковых сил автомобиль устанавливают на стенд и включают электродвигатель привода барабанов. Эти стенды металлоемкие и дорогостоящие, поэтому использовать их целесообразно только на крупных АТП.

## 8.5.8 Средства диагностирования амортизаторов

Стенд К-491(рисунок 8.35) предназначен для проверки амортизаторов без их демонтажа с автомобиля. Стенд состоит из рамы, двух вибраторов эксцентрикового типа, двух блоков записи диаграмм, двух опорных площадок, рычагов, аппаратного шкафа и трапов для въезда и выезда автомобиля.

С правой стороны стенда расположена колеблющаяся опорная площадка для колеса, а с левой – опорная площадка, регулируемая в соответствии с колеей проверяемого автомобиля. При включении электродвигателя 8 вращательное движение вала устройством 9 преобразуется в колебательное движение, которое через пружину 5 и регулировочный винт передается рычагу 1, а затем опорной площадке 12, на которой стоит колесо автомобиля.



1- рычаг; 2,8- электродвигатели; 3- самописец; 4- регулировочный винт; 5- пружина; 6- диаграммные диски; 7- маховик; 9- устройство для преобразования вращательного движения вала в колебательное; 10- рама; 11- платформа для въезда автомобиля; 12- опорная площадка.

Рисунок 8.35 – Стенд для проверки амортизаторов К-491

Колебания воспринимаются подвеской автомобиля, и после выключения электродвигателя частота колебаний подвески и опорной площадки будет одинаковой. В дальнейшем колебания гасятся амортизатором. На диаграммном диске самописца 3 отражаются максимальные и минимальные колебания в зависимости от их амплитуды, которые сравниваются с эталонными.

### Контрольные вопросы

1. Определение понятия «диагностика».

Основы теории надежности и диагностики

2. Что включает в себя процесс диагностирования?
3. Место диагностики в техническом сервисе.
4. Понятие входных и выходных диагностических параметров.
5. Понятие субъективного и объективного поисков отказов.
6. Заводская и эксплуатационная диагностики автомобилей.
7. Общая схема процесса диагностирования автомобиля. Внешние и встроенные средства диагностирования.
8. Средства диагностирования тормозной системы. Платформенный и роликовый тормозные стенды. Проверяемые параметры работы тормозной системы.
9. Средства диагностирования приборов освещения.
10. Диагностика подвески и рулевого управления.
11. Диагностика шин и колес
12. Определение светопропускания стекол.
13. Определение содержания загрязняющих веществ в отработавших газах.
14. Определение уровня дымности отработавших газов АТС с дизельными двигателями.
15. Определение уровня шума выпускной системы двигателя.
16. Диагностирование установки управляемых колес.
17. Средства диагностирования амортизаторов.

## 9 Эксплуатационные свойства и безопасность конструкций транспортных средств

### 9.1 Эксплуатационные свойства транспортных средств

**Эксплуатационными свойствами** автотранспортного средства называются свойства, характеризующие выполнение автотранспортным средством транспортных и специальных работ – перевозку пассажиров, грузов и специального оборудования. Эти свойства определяют приспособленность транспортного средства к условиям эксплуатации, а также эффективность и удобство его использования.

Транспортные средства обладают целым рядом эксплуатационных свойств, которые составляют две основные группы:

- связанные с движением транспортного средства: тягово-скоростные; тормозные; экономичность; управляемость; маневренность; устойчивость; проходимость; плавность хода; экологичность; шумность и др.;
- не связанные с его движением: вместимость; грузоподъемность; прочность; долговечность; ремонтпригодность и др.

Эксплуатационные свойства, обеспечивающие движение транспортного средства, существенно зависят от конструкции и технического состояния транспортного средства его систем и механизмов. Чем совершеннее конструкция транспортного средства и лучше его техническое состояние, тем выше эксплуатационные свойства транспортного средства.

В наибольшей степени на безопасность автомобиля влияют такие его эксплуатационные свойства как **тягово-скоростные, тормозные, управляемость, маневренность и устойчивость.**

### 9.2 Конструктивная безопасность транспортных средств

Безопасность дорожного движения зависит от безопасности каждого элемента системы АВДС. Понятие «безопасность автомобиля» включает в себя комплекс его конструктивных и эксплуатационных свойств, обеспечивающих безопасность движения.

**Конструктивная безопасность** транспортных средств делится на активную, пассивную, послеаварийную и экологическую безопасность транспортного средства, рис. 9.1.

#### 9.2.1 Активная безопасность транспортных средств

Основы теории надежности и диагностики

**Активная безопасность** - свойства транспортного средства предотвращать ДТП и снижать вероятность его возникновения. Активная безопасность проявляется в период, соответствующий начальной фазе ДТП, когда водитель в состоянии изменить характер движения транспортного средства. Активная безопасность определяет комплекс конструктивных мероприятий, таких как: обеспечение хорошей управляемости и устойчивости автомобиля, эффективного и стабильного замедления его при резком торможении, наличие хороших динамических качеств, долговечности узлов и деталей, эргономических качеств рабочего места водителя и мест пассажиров (хорошая обзорность с места водителя, вентиляция, уровень вибрации и шума) и т.д.



Рисунок 9.1. Структура безопасности автомобиля

Тягово-скоростные свойства. Для транспортных средств тягово-скоростные свойства определяются параметрами двигателя и трансмиссии, массой и

Основы теории надежности и диагностики

расположением центра масс, аэродинамическими параметрами и характеризуются следующими показателями:

- максимальная скорость движения по прямому горизонтальному участку дороги с твердым покрытием в сухом состоянии;
- время достижения заданной скорости движения;
- скоростная характеристика разгона на каждой передаче;
- максимальный подъем, преодолеваемый транспортным средством при движении с постоянной скоростью на низкой передаче;
- длина пути движения транспортного средства по инерции до полной остановки.

Тягово-скоростные свойства оказывают решающее влияние на такой сложный и опасный маневр, как обгон.

Совершенствования конструкции автомобиля с целью улучшения его тяговой динамики возможны путем уменьшения массы автомобиля за счет применения легких сплавов и пластмасс, повышения удельной мощности на 1 л рабочего объема двигателя, уменьшения габаритных размеров, повышения качества обработки деталей трансмиссии и подбором надлежащих сортов масел. Для улучшения аэродинамических характеристик автомобилей выступающие части делают минимальных размеров, придают автомобилю более совершенную форму.

Тормозные свойства. Необходимая эффективность тормозных систем обеспечивается следующими требованиями:

- минимальная длина тормозного пути;
- наименьшее время срабатывания тормозов;
- одновременное начало торможения колес по мостам автомобиля;
- высокая эффективность торможения во всех условиях эксплуатации и при разных нагрузках (в пределах допустимой);
- сохранение устойчивости и управляемости при экстренном торможении;
- сохранение эффективности тормозной системы во влажном или нагретом состоянии;
- высокая надежность (эффективность действия тормозной системы должна быть постоянной в течение всего срока службы, а вероятность отказа - минимальной);
- необходимая интенсивность торможения при незначительных усилиях на педали тормоза.

Различают служебное и экстренное торможение.

*Служебным* называют торможение, заранее предусмотренное водителем с целью планируемой остановки или снижения скорости. В таких случаях торможение производится плавно, торможению содействуют сопротивление деформации пневматических колес, инерция вращающихся масс автомобиля, в том числе возможно использование сопротивления, создаваемого двигателем.

*Экстренное торможение* выполняется с целью остановки для предотвращения наезда на неожиданно появившееся препятствие. Экстренное торможение характеризуют остановочным и тормозным путем.

*Остановочный путь* - расстояние, которое проходит транспортное средство с момента обнаружения водителем опасности до момента полной остановки:

Основы теории надежности и диагностики

$$S_o = S_p + S_{cp} + S_n + S_T,$$

где  $S_p$ ,  $S_{cp}$ ,  $S_n$  - путь, проходимый транспортным средством соответственно за время реакции водителя, срабатывания тормозной системы, нарастания замедления;  $S_T$  - путь торможения. Значения составляющих остановочного пути определяются по формулам:

$$S_p = t_p u_a; S_{cp} = t_{cp} u_a; S_n = 0,5 t_n u_a; S_T = v_a^2 / (2g\phi),$$

где  $t_p$  - время реакции водителя, с (зависит от его возраста, квалификации, состояния здоровья и других факторов, изменяется в достаточно широких пределах от 0,2 до 2,5 с, в среднем для расчета может быть принято  $t_p = 0,6...0,8$  с);

$u_a$  - скорость автомобиля, м/с;

$t_{cp}$  - время срабатывания тормозного привода, с (зависит главным образом от типа привода и его технического состояния, в среднем для гидравлического привода  $t_{cp} = 0,05...0,15$  с, для пневматического привода  $t_{cp} = 0,2...0,4$  с);

$t_n$  - время нарастания замедления, с (зависит от типа тормозного привода, состояния дорожного покрытия, массы автомобиля, в среднем для сухого твердого покрытия может быть принято  $t_n = 0,4...0,6$  с);

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$\phi$  - коэффициент сцепления шин с дорогой (зависит от состояния шин и дорожного покрытия).

*Тормозной путь* - часть остановочного пути, т.е. расстояние, проходимое транспортным средством от начала до конца торможения:

$$S_{\text{торм}} = S_{cp} + S_n + S_T.$$

Правила дорожного движения регламентируют тормозной путь и максимальное замедление автомобилей (для легковых автомобилей максимальное замедление автомобилей 6,8 м/с<sup>2</sup>, тормозной путь 12,2 м при скорости 40 км/ч и 38 м - при скорости 80 км/ч).

Согласно международным и отечественным требованиям в конструкции автомобиля должны быть предусмотрены *рабочая, запасная, стояночная и вспомогательная тормозные системы*.

*Рабочая тормозная система* является основной и предназначена для регулирования скорости автомобиля в любых условиях движения. *Запасная система* используется в случае отказа рабочей системы, а *стояночная* удерживает неподвижный автомобиль на месте. *Вспомогательная тормозная система* нужна для поддержания скорости автомобиля постоянной в течение длительного времени. Часто на автомобилях в качестве запасной системы используется один из контуров рабочих тормозов, а в качестве вспомогательной - двигатель.

Для безопасности автомобиля наибольшее значение имеет рабочая тормозная система.

Для улучшения тормозных свойств и активной безопасности автомобиля применяют регуляторы, обеспечивающие более полное использование сцепления с дорогой каждым колесом. Это достигается перераспределением тормозных усилий на колесах за счет изменения усилий в тормозных механизмах в зависимости от скольжения колес.

Для уменьшения времени срабатывания и увеличения тормозного момента на автомобилях применяют усилители тормозов, автоматическую регулировку зазоров между тормозными накладками и диском (в дисковых тормозах) и между накладками и барабаном (в барабанных тормозах), а также антиблокировочные системы, позволяющие увеличить тормозную силу на колесах за счет предотвращения полной блокировки колес при торможении.

Безопасность автомобиля достигается также информированностью водителя о состоянии тормозной системы автомобиля. На комбинации приборов в поле зрения водителя располагаются сигнальные устройства, информирующие о состоянии тормозной системы. Примером может служить контрольная лампа уровня тормозной жидкости. На контрольную лампу могут быть выведены также сигналы от индикаторов износа тормозных накладок. Сигнальное устройство (световое и (или) звуковое) информирует водителя о неисправности тормозов и способствует предотвращению ДТП.

Устойчивость. Способность противостоять заносу (скольжению) и опрокидыванию называется устойчивостью транспортного средства.

Критерием оценки *продольной устойчивости* служит максимальный уклон подъема, преодолеваемый с постоянной скоростью без пробуксовывания ведущих колес. Критический угол подъема зависит от вида транспортного средства и значения коэффициента сцепления  $\varphi$ ; например, для автопоездов при  $\varphi = 0,3$  критический угол не превышает  $4...6^\circ$ .

Критериями *поперечной устойчивости* являются максимально возможные скорости движения по окружности и углы поперечного уклона дороги (косогора). Поперечная устойчивость оценивается:

- критической скоростью движения на кривой в плане, соответствующей началу заноса или скольжения транспортного средства;
- критической скоростью движения на кривой в плане, соответствующей началу опрокидывания;
- критическим углом косогора, при котором возникает поперечное скольжение транспортного средства;
- критическим углом косогора, соответствующим началу опрокидывания транспортного средства.

Критическое значение угла косогора по условиям опрокидывания транспортного средства для легковых автомобилей составляет  $40...50^\circ$ , для грузовых -  $30...40^\circ$ , для автобусов -  $25...30^\circ$ .

Критические (максимальные) скорости по условию опрокидывания ( $u_{опр}$ ) и заноса ( $u_{зан}$ ) определяются по формулам:

$$v_{опр} = \frac{k_d \sqrt{gbR_{п}}}{2h_{ц}}; v_{зан} = \sqrt{g\varphi R_{п}},$$

где  $k_d$  - коэффициент, учитывающий поперечный крен кузова вследствие деформации подвески;

$$k_d = 0,85 \dots 0,95;$$

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$b$  - ширина колеи автомобиля, м;

$R_{п}$  - радиус поворота, м;

$h_{ц}$  - высота центра масс автомобиля, м;

$\varphi$  - коэффициент сцепления шин с дорогой.

Потеря устойчивости автомобилем может быть вызвана неправильными режимами управления (торможение, разгон, резкий поворот рулевого колеса), а также неправильным выбором скорости движения (без учета состояния дорожного покрытия и влияния окружающей среды). Конструктивно улучшить устойчивость автомобиля можно путем оптимального выбора геометрии подвески колес, применением широкопрофильных шин, равномерным распределением массы автомобиля по осям. Применение передних ведущих колес также позволяет повысить устойчивость автомобиля.

Управляемость. Способность изменять направление движения в соответствии с воздействием водителя на рулевое управление при наименьших затратах механической и физической энергии называется управляемостью транспортного средства. Управляемость транспортного средства подразумевает выполнение следующих требований:

- качение управляемых колес автомобиля при криволинейном движении должно происходить без бокового скольжения;
- углы поворотов управляемых колес должны иметь необходимое соотношение;
- должна быть обеспечена стабилизация управляемых колес;
- должны быть исключены произвольные колебания управляемых колес;
- углы увода передней и задней осей должны иметь определенное соотношение.

Один из наиболее важных компонентов управляемости - *чувствительность автомобиля к повороту руля*, которая характеризует степень изменения траектории движения автомобиля при определенном повороте руля и зависит от передаточного отношения рулевого управления, кинематики и жесткости подвески, колес, параметров шин. На управляемость автомобиля, прежде всего, влияет техническое состояние ходовой части и органов управления.

Маневренность. Способность изменять направление движения в горизонтальной плоскости на минимальной площади называется *маневренностью транспортного средства*. Показателями маневренности (рис.

8.2) являются ширина коридора движения на повороте  $B_H$  и минимальный радиус поворота наружного управляемого колеса  $R_H$ . Увеличение длины транспортного средства приводит к снижению его маневренности и ухудшению характеристик транспортного потока.

Ширина транспортного средства определяет коридор движения, т.е. ширину полосы проезжей части, необходимой транспортному средству при движении по условиям безопасности (рис. 8.3). Увеличение занимаемого коридора движения объясняется отклонением транспортных средств от прямолинейного движения с увеличением скорости.

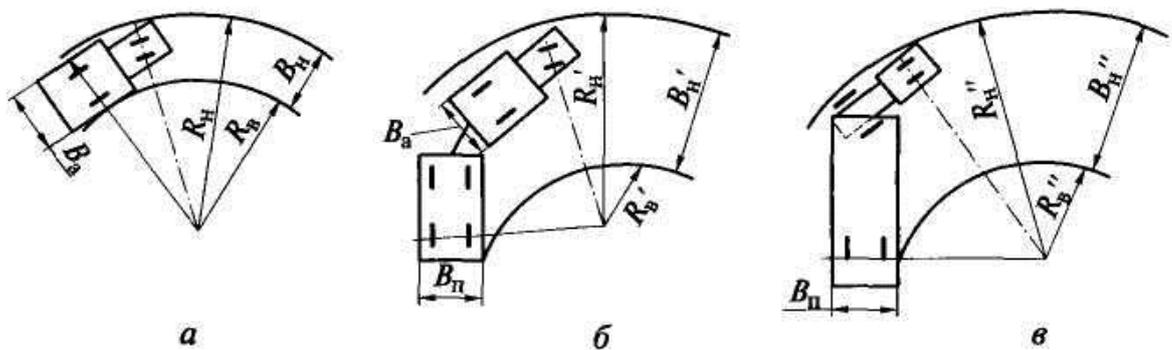


Рисунок 9.2. Показатели маневренности одиночного автомобиля (а), тягача с прицепом (б), тягача с полуприцепом (в):  $R_B$  - радиус поворота внутреннего колеса;  $R_H$  - радиус поворота наружного колеса;  $B_a$  - ширина одиночного автомобиля;  $B_H$  - ширина коридора движения;  $B_{\Pi}$  - ширина прицепа



Рисунок 9.3. Коридор движения на однополосной (а) и двухполосной (б) дороге:  $B_a$  - статическая ширина автомобиля;  $B_d$  - динамическая ширина автомобиля;  $B_k$  - коридор движения;  $C$  - зазоры безопасности.

Коридор движения автопоезда при достижении сравнительно высокой скорости движения (40 км/ч и более) в результате поперечных колебаний прицепа в горизонтальной плоскости может достигнуть значения, угрожающего

безопасности движения. Причем опасность возникает не только для других участников движения, но и для самого автопоезда в результате потери устойчивости прицепа, ухудшения управляемости всего автопоезда. Кроме того, эти колебания вызывают значительные нагрузки на элементы автопоезда, особенно на тягово-цепное устройство, что может привести к его поломке. Повышение критической скорости по условиям устойчивости автопоезда достигается увеличением базы прицепа (полуприцепа) и смещением центра тяжести к сцепному устройству.

Информативность. Важную роль в обеспечении активной безопасности играет информативность транспортного средства как свойство транспортного средства, позволяющее обеспечивать участников движения необходимой информацией. Различают внешнюю и внутреннюю информативность (рис. 9.4).

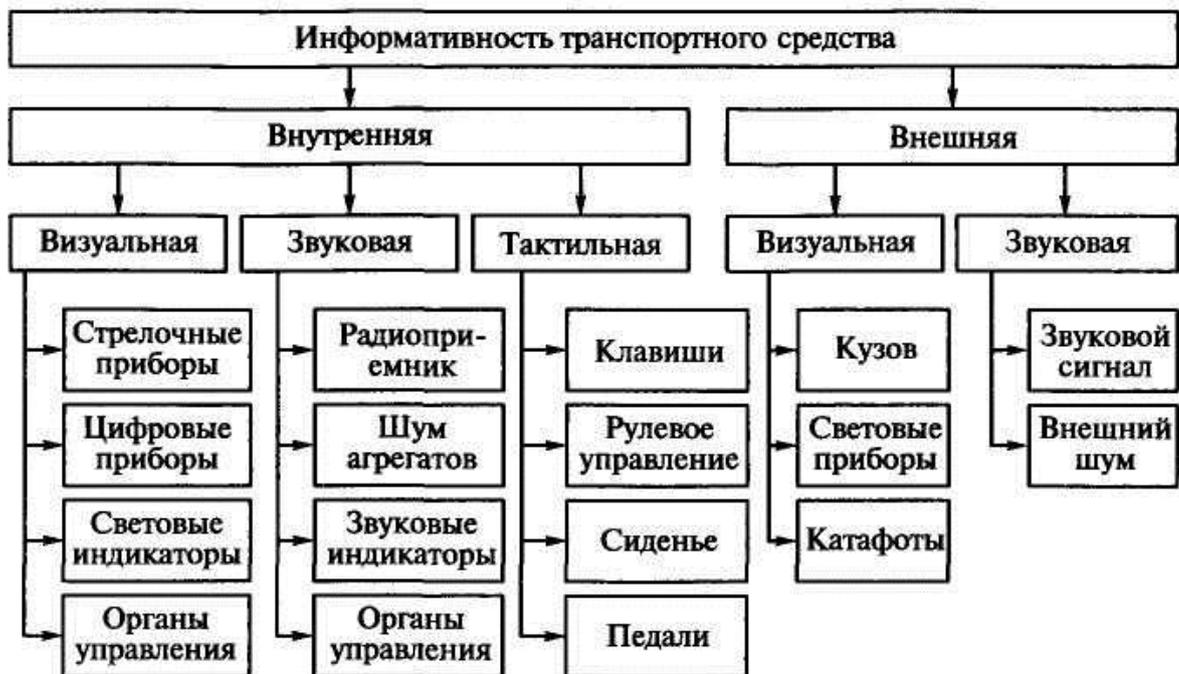


Рисунок 9.4 - Схема информативности транспортного средства

*Внешняя информативность* - обеспечение водителя внешней информацией.  
*Внутренняя информативность* - обеспечение водителя информацией о состоянии транспортного средства.

Информативность может быть визуальной, звуковой и тактильной (связанная с ощущением прикосновения).

Внешняя визуальная информативность транспортного средства включает в себя:

- *пассивную информативность*, определяемую как потенциальные свойства транспортного средства передавать информацию без затрат энергии (к ним относятся форма, размеры, цвет кузова и световозвращающие устройства);

Основы теории надежности и диагностики

▪ *активную информативность*, определяемую как потенциальные свойства транспортного средства передавать информацию с определенными энергетическими затратами (к ним относятся системы освещения, световая и звуковая сигнализации).

Обязательным элементом автономной системы освещения транспортных средств являются головные фары, обеспечивающие дальнее и ближнее освещение. Минимальный комплект приборов световой сигнализации современных транспортных средств включает в себя:

- сигнал торможения;
- габаритные огни (передние и задние);
- указатели поворотов (передние и задние);
- фонарь освещения номерного знака;
- знак автопоезда.

Дополнительно на транспортном средстве могут устанавливаться широкоугольные противотуманные фары, фары-прожекторы, фары заднего хода.

Основные параметры внешней световой сигнализации (цвет, размеры, сила света, режим работы), их число и расположение, углы видимости регламентируются стандартами, в которых определены требования к обеспечению надежного восприятия передаваемой информации; необходимо исключение ослепления и дискомфорта зрительного восприятия.

Основным показателем эффективности системы освещения транспортного средства является безопасная скорость движения, которая определяется по формуле, получаемой из условия равенства необходимой дальности видимости и остановочного пути:

$$v_6 = j \left( \sqrt{T^2 + 2S_e / j} - T \right)$$

где  $v_6$  - безопасная скорость движения по условиям видимости, м/с;

$j$  - установившееся замедление, м/с<sup>2</sup>;

$T = t_p + t_{cp} + t_d$  - суммарное время реакции водителя и срабатывания тормозов, с;

$t_p$  - время реакции водителя, с;

$t_{cp}$  - время срабатывания тормозного привода, с;

$t_d$  - дополнительное время реакции, необходимое для восприятия препятствия в темное время суток, с;

$S_e$  - дальность видимости препятствий, м.

Дальность видимости препятствий  $S_e$  зависит от расстояния освещения  $S_{ocb}$ :

$$S_e = S_{ocb} - \mu u_a,$$

где  $\mu$  - эмпирический коэффициент, зависящий от динамики восприятия освещаемых объектов в поле зрения;

$u_a$  - скорость движения транспортного средства, м/с.

Поправка  $\mu_a$  учитывает тот факт, что с увеличением скорости движения транспортного средства сокращается расстояние, на котором объект может быть обнаружен, так как в динамических условиях восприятия обнаружение объекта требует большей его освещенности.

Критерием безопасности может служить коэффициент видимости  $k_{\text{вид}}$ , представляющий собой отношение величин дальности видимости  $S_e$  и остановочного пути  $S_o$ , или коэффициент опасности движения  $k_{o,d}$  - величина, обратная коэффициенту видимости:

$$k_{\text{вид}} = S_e/S_o; k_{o,d} = 1/k_{\text{вид}} = S_o/S_e.$$

Существуют исследования влияния на безопасность движения *окраски транспортного средства*, которая должна обеспечивать световой и цветовой контраст с дорожным покрытием.

Особенности цвета транспортного средства следующие:

- красный - кажется, что транспортное средство движется быстрее и находится на более близком расстоянии, чем на самом деле. Пешеходы стараются держаться дальше от транспортных средств красного цвета;
- зеленый - пожилые люди не осознают опасности перехода дороги перед приближающимися транспортными средствами зеленого цвета;
- белый - безопаснее, чем другие, но зимой белый цвет транспортного средства менее заметен, чем другие цвета;
- серый - особенно опасен на обочине без сигнальных огней в сумерки и темное время суток. Пожилые люди испытывают затруднения по определению расстояния до транспортных средств темных или серых оттенков;
- желтый - наиболее безопасен, поскольку заметен на всех фонах (снежный, грунтовая дорога, асфальтобетонное покрытие).

Цвета с большим коэффициентом отражения (яркие), а также многоцветовая гамма при кратковременном наблюдении возбуждающе действуют на водителя, что способствует выделению транспортных средств в транспортном потоке. При длительном наблюдении такие цвета оказывают утомляющее действие. Таким образом, красный и желтый цвета и их оттенки следует применять для окраски небольших по размеру транспортных средств. Грузовые автомобили, автобусы необходимо окрашивать в холодные цвета (зеленый, голубой, синий и их оттенки). Это снимает напряжение зрения и уменьшает утомляемость водителей встречных транспортных средств.

Большое значение в безопасности дорожного движения имеет *обзорность с места водителя*. Обзорность определяется размерами окон, расположением водителя (т.е. высотой положения глаз водителя относительно поверхности дороги), расположением стоек кабины, формой и высотой капота, расположением и размерами стеклоочистителей, устройств обдува и обогрева лобового стекла, числом и размерами зеркал заднего вида.

Обзорность регламентирована ГОСТ Р 51266 - 99 «Автомобильные транспортные средства. Обзорность с места водителя. Технические требования. Методы испытаний», соответствующим требованиям Европейского союза.

Рабочее место водителя. Рациональная организация рабочего места водителя имеет большое значение для безопасности дорожного движения, повышения производительности труда, сохранения здоровья водителя.

Обитаемость - характеристики среды, определяющие уровень комфорта (микроклимат, загазованность, эргономические свойства, шум и вибрации, плавность хода) и эстетические качества рабочего места водителя.

Микроклимат определяется температурой, влажностью и скоростью воздуха. Приемлемыми температурами являются значения 17...24 °С, оптимальными - 20...22 °С. Температурное воздействие на организм (прежде всего, интенсивность теплообмена) существенно зависит от влажности и скорости движения воздуха. Допустимая относительная влажность воздуха составляет 30...70 %.

Влияние микроклимата на состояние водителя представлено в табл. 8.1.

Рекомендуемая скорость воздуха в салоне транспортного средства - примерно 1 м/с. Считается, что вентиляция кабины грузового автомобиля должна обеспечивать при закрытых окнах не менее чем 20-кратный воздухообмен. При этом подача свежего воздуха в кабину или салон в зимний период должна составлять 0,5...0,8 м<sup>3</sup>/мин, в летний - 1...2,4 м<sup>3</sup>/мин.

Важным фактором, влияющим на безопасность дорожного движения, является чистота воздуха в кабине (салоне) транспортного средства (табл. 8.2).

Шум оказывает вредное воздействие на органы слуха, кору головного мозга: снижается внимание, увеличивается время реакции, затрудняется восприятие сигналов других транспортных средств, слуховой контроль работы агрегатов своего автомобиля. Уровень шума до 70...75 дБ считается нормальными условиями, уровень 80...85 дБ является уже вредным. Болевые ощущения возникают при уровне шума 130 дБ и выше. Действие шума определяется не только его интенсивностью, но и частотой.

Таблица 9.1

Влияние микроклимата на состояние водителя

Показатель микроклимата	Состояние водителя
Температура воздуха ниже 17 °С	Начинается охлаждение тела, наблюдаются снижение работоспособности мышц и их быстрая усталость, неточность и скованность движений. Минимальный допустимый уровень температуры - 11 °С
Повышение температуры до 25 °С	Снижается скорость реакции, ускоряется физическое утомление
Температура воздуха выше 30 °С	Ухудшается умственная деятельность, замедляется реакция
Повышение влажности при низкой температуре	Увеличивается теплоотдача и интенсивность охлаждения организма
Повышение влажности при	Перегрев организма

высокой температуре	
---------------------	--

Таблица 9.2

Влияние состава воздуха на состояние водителя

Изменение состава воздуха	Состояние водителя
Повышение концентрации оксида углерода	Снижается внимание, увеличивается сонливость, снижается острота зрения, особенно ночью
Концентрация оксида углерода более 0,02 %	Легкое отравление
Концентрация диоксида углерода более 1...2 %	Снижается эффективность работы водителя
Повышение концентрации диоксида углерода до 3 %	Затрудняется дыхание
Концентрация оксидов азота (NO, NO <sub>2</sub> ) более 0,01 %	Вдыхание в течение 0,5...1 ч может вызвать заболевание
Повышение концентрации акролеина - газа, характерного для выхлопов дизелей	Раздражение слизистых оболочек горла, носа, глаз
Количество пылеватых частиц более 150 млн. на 1 м <sup>3</sup> воздуха	Раздражение дыхательных путей

Источниками *вибраций* и *колебаний* являются работающие двигатель и агрегаты автомобиля, неровности дороги. Вибрация и колебания характеризуются частотой и амплитудой, скоростью и ускорением колебательного движения. Чем больше частота вибраций, тем меньше может быть допустимая амплитуда колебаний. Собственные частоты колебаний частей человеческого тела составляют 4...5 Гц для области таза, 4...8 Гц для области брюшной полости, до 30 Гц для области головы. Собственная частота колебаний всего тела составляет примерно 5 Гц. Если при движении автомобиль испытывает колебания, кратные частоте колебаний тела человека или его частей, возможны резонансные колебания, что резко повышает утомление водителя, так как вызывает общее напряжение тела и увеличивает расход энергии.

*Эргономические свойства* - показатели, характеризующие соответствие размера, формы сидений и органов управления транспортным средством антропометрическим показателям.

Управление транспортным средством требует высококоординированных действий и движений, быстроты и точности двигательных реакций. Длительное пребывание в условиях ограниченной подвижности, однообразии рабочей позы и движений вызывают нарушение координации. Требуется обеспечение условий, соответствующих физиологическим возможностям человека.

Компоновка кресла водителя должна способствовать удобной посадке водителя (прежде всего правильное положение позвоночника), обеспечивающей

наименьшие физические затраты и состояние постоянной готовности в течение длительного времени. Это достигается определенным соотношением размеров элементов сиденья, возможностью регулировки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, изменением наклона спинки сиденья, амортизирующими устройствами и материалами сиденья.

При разработке конструктивных решений органов управления автомобилем (расположение, форма, размеры и т.д.) учитывают их функциональное назначение, значимость, частоту пользования, очередность пользования. Кроме того, конструкции органов управления должны обеспечивать:

- экономию движений (число движений и траектории должны быть минимальны);
- простоту и законченность движений (последнее предполагает, что окончание предыдущего движения должно быть удобным для следующего);
- размещение в оптимальной зоне досягаемости рук и ног водителя;
- равномерное распределение нагрузки на руки и ноги.

### 9.2.2 Пассивная безопасность автотранспортных средств

Под **пассивной безопасностью** подразумевается комплекс эксплуатационных свойств транспортного средства, обеспечивающих снижение тяжести последствий ДТП.

Пассивная безопасность вступает в действие, если водителю не удалось избежать аварии, и обеспечивает уменьшение инерционных нагрузок на водителя и пассажиров, ограничение перемещения их в кабине, защиту от травм, увечий при ударе, устранение возможности выбрасывания из кабины в момент столкновения.

Различают внутреннюю и внешнюю пассивную безопасность.

Под *внутренней пассивной безопасностью* понимают свойства транспортного средства, снижающие тяжесть последствий ДТП для водителя и пассажиров, находящихся в транспортном средстве.

*Внешняя пассивная безопасность* - свойства транспортного средства, позволяющие снизить тяжесть последствий для других участников ДТП (пешеходов, водителей и пассажиров других транспортных средств).

К комплексу пассивной безопасности относятся:

- *свойства*: демпфирующие свойства передней и задней частей транспортного средства, бамперов; надежность закрывания замков дверей;
- *конструктивные особенности*: безосколочное ветровое стекло; энергопоглощающая рулевая колонка; системы ограничения перемещения человека в салоне - ремни безопасности, подголовники, пневматические подушки; отсутствие острых и жестких выступающих внутренних панелей салона и ручек органов управления; средства защиты пешеходов выступающими снаружи деталями кузова транспортного средства.

Ремни безопасности.

Эффективным средством обеспечения безопасности водителя и пассажиров транспортного средства являются *ремни безопасности*. При столкновении автомобиля на скорости 50 км/ч человек, не пристегнутый ремнями, ударяется с силой до 60 раз превышающей его собственный вес. По статистике риск серьезных ранений для пассажиров, пристегнутых ремнями безопасности на заднем сиденье, снижается в 2,86 раза. Кроме того, не пристегнутый пассажир, находящийся на заднем сиденье, подвергает риску не только себя, но и тех, кто сидит спереди.

Внедрение современных разработок значительно улучшает первоначальные эксплуатационные характеристики транспортного средства и степень защиты водителя и пассажиров. Последние разработки включают в себя такие усовершенствования, как регулировка плечевого ремня безопасности, удлинитель ремня безопасности, механизмы предварительного и аварийного натяжения ремня безопасности, система управления энергией (ограничители нагрузки), интегрированная система сиденье - ремень, ремни безопасности для центрального заднего сиденья.

Самая последняя разработка – надувные ремни безопасности. Семейство Ford Mondeo 2013 года будет оснащаться надувными ремнями безопасности для пассажиров на заднем ряду сидений.



Задними ремнями со встроенными в них подушками безопасности уже оснащается американский вариант внедорожника Ford Explorer. При этом, по словам представителей производителя, они стали весьма популярной опцией — их на свои автомобили заказывали 40 процентов покупателей этой модели. Подобные ремни позволяют равномерно распределить нагрузку на грудную клетку пассажиров, что снижает вероятность получения серьезных травм. Подушки ремней надуваются специальным охлажденным газом за 40 миллисекунд.

Подушки срабатывают только в случаях тяжелых аварийных ситуаций. Решение о том, использовать подушки в ремнях или нет, принимает единый блок управления всеми системами безопасности автомобиля. Летом 2009 года аналогичную систему анонсировала компания Mercedes-Benz.

Только в США ежегодно около 400 автомобилистов погибают в результате падения автомобилей в воду. В большинстве случаев люди в панике не успевают отстегнуть ремни безопасности, и устройство, призванное сохранить жизнь в случае столкновения, превращается в смертельную ловушку.

Нидерландская компания Fijen TMLS представила устройство Escape Belt, предназначенное для автоматической разблокировки ремней безопасности тонущего автомобиля. В случае если автомобиль упадет в воду, защелка такого ремня автоматически расстегивается, и человек может беспрепятственно покинуть машину.



Новый ремень внешне ничем не отличается от обычных и не содержит сложных электронных устройств, благодаря чему его цена не превышает 40 долл. Внутри защелки нового ремня находится специальный картридж с таблеткой соли, которая очень быстро теряет прочность при намокании. Таким образом после погружения ремня в воду защелка автоматически срабатывает, и ремень за одну секунду выскакивает из замка. Водителю и пассажирам остается лишь открыть дверь, чтобы выбраться из тонущего автомобиля.

Подушки безопасности.

При резких фронтальных ударах пассажиры получают ускорение до (40...50) **g**. Если имеется надежное амортизирующее средство, подобные ускорения могут быть перенесены без значительных травм. Для защиты водителя и пассажиров при фронтальных ударах служат *системы пневматических подушек*, автоматически срабатывающих за короткий промежуток времени, проходящий между ударом автомобиля о препятствие до момента удара тела человека о

рулевое колесо или элементы интерьера (0,03...0,04 с). При срабатывании пневматических подушек рассеивается до 90 % кинетической энергии удара.

По результатам исследований, проведенных в США, пневматические подушки снижают риск смертельного исхода для водителей: на 31 % - при прямом лобовом столкновении; 19 % - при всех лобовых столкновениях; 11 % - при любом другом столкновении.

При испытаниях на лобовое столкновение легковых автомобилей, оборудованных пневматическими подушками, принимая в расчет их массу, были получены следующие результаты снижения риска гибели водителя:

- легкие автомобили (масса до 1260 кг) - на 31 %;
- средние автомобили (масса 1260...1420 кг) - на 25 %;
- тяжелые автомобили (масса более 1420 кг) - на 39 %.

Надежность защиты водителя и пассажиров от получения травм различной степени тяжести и гибели увеличивается при комбинировании разных систем ограничения перемещения человека в салоне. Так, в случае использования пневматических подушек снижение риска получения травм, угрожающих жизни человека, достигает 40 %, травм средней тяжести - 10 %, а при совместном использовании пневматических подушек и ремней безопасности соответственно 64 и 66 %.

В случае бокового столкновения водитель и пассажиры получают серьезные ранения от удара о дверь. Для того, чтобы снизить тяжесть таких ранений, используют специальные наполнители для дверей и современные композитные материалы, хорошо поглощающие энергию удара. Некоторые производители оборудуют выпускаемые ими автомобили системами защиты от удара о боковые элементы автомобиля, а именно боковые пневматические подушки (от удара о двери) и пневматические шторы (от удара о наддверную часть потолка). Такие системы постепенно становятся обязательным атрибутом новых автомобилей, их задача - поглощение энергии удара головы и грудной клетки человека о потолок, дверь и внешние объекты (например, дерево, столб или другой автомобиль). Боковые пневматические подушки могут устанавливаться в двери, сиденье или балке автомобильной рамы.

Концерн General Motors разработал первую в мире центральную подушку безопасности, раскрывающуюся между передними сиденьями в случае бокового столкновения. Был выбран способ, когда подушка раскрывается из правой нижней части спинки водительского сиденья. Она удерживает водителя при боковом столкновении, служит своеобразной перегородкой между водителем и передним пассажиром, не позволяя им удариться головами, а также обеспечивает дополнительную защиту при перевороте автомобиля.



### Сиденья.

Важный элемент внутреннего обустройства автомобиля - *сиденья*. Использование сидений специальной конструкции может существенно повысить безопасность водителя и пассажиров, что достигается применением амортизаторов, усилением креплений сидений, фиксацией спинок передних сидений защелками, ограничением перемещения головы в момент удара при помощи подголовников. В последние годы серьезное внимание стали уделять надежному креплению подушки заднего сиденья и его спинки. При фиксации спинок сидений с помощью защелки пассажиры на заднем сиденье не ударяются о детали интерьера передней части салона.

Большое внимание должно уделяться пассивной безопасности детей. Детей весом до 9 кг обязательно следует перевозить в детском кресле с обратной посадкой, установленном на заднем сиденье и пристегнутом ремнями безопасности. Заднее сиденье всегда безопаснее переднего, даже оборудованного пневматической подушкой. Детей массой более 9 кг следует

перевозить в детском кресле с посадкой лицом вперед, а затем в детском удерживающем устройстве. В любом случае дети в возрасте до 12 лет должны находиться только на заднем сиденье и быть пристегнутыми ремнями безопасности. По результатам исследований, для ребенка, сидящего на заднем сиденье, риск гибели при лобовом столкновении на 36 % ниже, чем для ребенка, сидящего на переднем сиденье.

Рулевая колонка.

Большое внимание уделяется исследованию влияния конструкции и расположению *рулевой колонки* на безопасность водителя при возникновении ДТП. При хорошо сконструированной и правильно расположенной рулевой колонке опасность травмирования водителя уменьшается на 30...40 %. Имеются разные конструкции безопасного рулевого колеса, например, снабженные предохранительной мягкой накладкой, рулевое колесо с гибким ободом и т.п.

Снижение тяжести последствий ДТП для других участников дорожного движения является неотъемлемой характеристикой современного автомобиля.

Результаты испытаний автомобилей показывают:

- конструкция автомобиля определяет тяжесть ранения пешехода и степень повреждения другого автомобиля в случае ДТП. Например, изменение конструкции капота таким образом, чтобы между крышкой капота и верхними элементами двигателя находилось не менее 5...8 см пустого пространства уже позволяет значительно снизить тяжесть травм пешехода в результате ДТП;
- алюминиевый капот лучше поглощает энергию удара, поэтому снижает тяжесть последствий ДТП для пешехода;
- при наезде на пешеходов до 55 % всех травм пешеходов вызвано ударом о бампер. Тяжесть травм коленей пешеходов возрастает, если бампер автомобиля расположен на высоте 50...53 см от поверхности дороги. Если бампер расположен на уровне половины тела человека, пешеход получает еще более тяжелые травмы тазовых костей. Таким образом, чем ниже расположен бампер, тем меньше вероятность травм коленей и тазовых костей, а чем меньше жесткость бампера, тем меньше тяжесть этих травм.

### 9.2.3 Послеаварийная безопасность транспортных средств

**Послеаварийная безопасность** - это свойства транспортного средства снижать тяжесть последствий ДТП.

К элементам послеаварийной безопасности относятся конструктивные свойства автомобиля, предотвращающие возникновение опасных явлений (пожар, заклинивание дверей), возникающих в результате ДТП. К элементам послеаварийной безопасности можно также отнести средства аварийной

сигнализации и связи, средства оказания медицинской помощи пострадавшим в результате ДТП.

Для снижения вероятности возникновения пожара в результате ДТП регламентируют величину утечки топлива из топливного бака, наливной горловины и топливопроводов при фронтальном ударе и при наезде сзади; применение огнестойкой перегородки между топливным баком и салоном автомобиля; требования к самому топливному баку по статическому электричеству; требования к электропроводке и ее защите; свойства материалов внутренней отделки кузова по горючести (по скорости сгорания) для предотвращения быстрого распространения пламени и образования в салоне ядовитых газов (продуктов сгорания).

Наибольшую опасность для водителя и пассажиров представляет возгорание транспортного средства. Хотя, по данным статистики, вероятность возгорания при ДТП составляет 0,3...1,2 %, оно приводит к тяжелейшим последствиям.

Требования к пожарной безопасности транспортного средства определены нормативными документами, в которых предусмотрены:

- отдельное размещение топливного бака и двигателя, при этом установка топливного бака в задней части транспортного средства в пределах базы предпочтительнее, так как лобовые столкновения и наезды на препятствия отличаются особой тяжестью последствий;
- автоматическое отключение бортовых источников энергии;
- обеспечение пожаробезопасности топливных баков, горловин, топливопроводов;
- система блокировки в момент ДТП дверных замков, конструкция замков удерживающих устройств (ремней безопасности), позволяющая легко освободиться от них, чтобы быстро покинуть транспортное средство;
- наличие устройств аварийной эвакуации (люки в крыше, инструменты в салоне для разбивки стекол и т.д.);
- обеспечение бортовыми средствами тушения.

#### 9.2.4 Экологическая безопасность транспортных средств

**Экологическая безопасность** - это свойство транспортного средства снижать степень отрицательного влияния на окружающую среду в процессе всего срока эксплуатации.

В настоящее время автотранспортный комплекс во всем мире является одним из самых экологически опасных объектов хозяйственной деятельности. Значительные количества вредных веществ оказывают влияние на все компоненты окружающей среды и здоровье населения, поступая в атмосферный воздух, почву, поверхностные и грунтовые воды и оседая на растительном покрове. Основные негативные последствия, связанные с эксплуатацией транспортных средств, - это потери полезной площади земли, загрязнение

атмосферы, истощение природных ресурсов, уничтожение флоры и фауны, шум, вибрации, электромагнитные излучения.

В настоящее время особую актуальность имеет *загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами*, содержащимися в отработавших газах, к которым относятся прежде всего оксид углерода (СО), углеводороды (СН<sub>х</sub>), оксиды азота (NO<sub>х</sub>), твердые частицы (сажа). Вступая в реакцию с окружающим воздухом, эти вещества образуют фотохимический смог, вызывающий резь в глазах, аллергические, сердечно-сосудистые, нервные заболевания людей.

Отрицательное воздействие транспортных средств на окружающую среду заключается не только в выделении токсичных веществ, но и в *сжигании кислорода* (примерно 3,3 т кислорода на 1 т нефтепродуктов).

Методы, применяемые для снижения токсичности, можно подразделить на четыре группы:

- группа I - изменение конструкции, рабочего процесса, специального регулирования двигателей внутреннего сгорания и их систем;
- группа II - применение другого вида топлива или изменение физико-химических свойств топлива;
- группа III - очистка выбросов от токсичных компонентов с помощью дополнительных устройств;
- группа IV - замена традиционных двигателей новыми малотоксичными силовыми установками.

Группа I включает в себя мероприятия по улучшению смесеобразования и обеднения смеси, дозирования и распределения ее по цилиндрам (электронные и электромеханические системы впрыска топлива, модифицированные быстропрогреваемые впускные клапаны).

Токсичность отработавших газов значительно уменьшается при применении бесконтактных транзисторных систем зажигания, карбюраторов новых типов (с быстродействующими заслонками, электронным управлением), при установке устройств для рециркуляции отработавших газов.

С помощью специальных регулировок (состава смеси, частоты вращения холостого хода, угла опережения зажигания и времени перекрытия клапанов) можно уменьшить содержание токсичных компонентов в отработавших газах.

Группа II имеет два основных направления - применение присадок к топливам, снижающих выброс свинца, серы, сажи и т.д., перевод двигателей на другие виды топлива (природный газ, пропан-бутан, водород).

Группа III включает в себя очистку выбросов от токсичных компонентов с помощью нейтрализаторов различных типов и очистителей, устанавливаемых на транспортных средствах.

Для снижения токсичности применяется неэтилированный бензин.

Основными источниками *шума*, производимым транспортным средством, являются двигатель, шасси (трансмиссия, кузов), шины, поток воздуха за транспортным средством.

Мероприятия по снижению шума, производимого транспортным средством, включают в себя совершенствование конструкций воздухоочистителей, впускных и выпускных трубопроводов, глушителей, синхронизаторов, применение

косозубых шестерен постоянного зацепления и менее «шумных» подшипников, других шумопоглощающих и шумоизолирующих устройств.

#### Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие эксплуатационных свойств автотранспортного средства? Две группы эксплуатационных свойств.
2. Какие эксплуатационные свойства автомобиля в наибольшей степени влияют на его безопасность?
3. Структура конструктивной безопасности автомобиля.
4. Понятия активная и пассивная безопасность транспортных средств.
5. Состав комплекса конструктивных мероприятий активной безопасности транспортных средств.
6. Назовите четыре типа тормозных систем, которые должны быть предусмотрены конструкцией автомобиля.
7. Каким основным требованиям должна удовлетворять рабочая тормозная система?
8. Что понимается под тягово-скоростными свойствами автомобиля?
9. Что понимается под тормозными свойствами автомобиля? Назовите основные требования к тормозной системе.
10. Что понимается под устойчивостью автомобиля?
11. Что понимается под управляемостью автомобиля?
12. Что понимается под маневренностью автомобиля?
13. Роль информативности в обеспечении активной безопасности.
14. Понятие пассивной безопасности автомобиля.
15. Элементы пассивной безопасности автомобиля.
16. Понятие послеаварийной безопасности транспортных средств.
17. Понятие экологической безопасности транспортных средств.

## 10 Комплексная безопасность транспортных средств. Функционирование комплекса АВДС в условиях ДТП

### 10.1 Характеристика системы АВДС

#### 10.1.1 Общие сведения

На безопасность дорожного движения оказывает влияние множество факторов: как объективных (конструктивные параметры и состояние дороги, интенсивность движения транспортных средств и пешеходов, обустройство дорог сооружениями и средствами регулирования, время года, часы суток), так и субъективных (состояние водителей и пешеходов, нарушение ими установленных правил). Таким образом, на дорогах существует сложная динамическая система, включающая в себя совокупность элементов *водитель, автомобиль, дорога*, функционирующих в определенной среде. Эти элементы единой дорожно-транспортной системы находятся в определенных отношениях и связях друг с другом и образуют целостность. Они формируют факторы риска, которые могут привести к ДТП.

С точки зрения безопасности дорожного движения интерес для системного изучения представляют как сами факторы риска, так и их различные сочетания, а именно:

- человек - автомобиль;
- автомобиль - дорога;
- дорога - человек.

На рис. 10.1 представлена роль различных факторов как причин ДТП:  
в 57 % случаев главная причина ДТП - ошибка человека;  
в 27 % случаев причиной ДТП является проблема взаимодействия человека и дороги;  
в 6 % случаев причиной ДТП является проблема взаимодействия человека и автомобиля;  
в 3 % случаев причиной ДТП является проблема многостороннего взаимодействия человека, автомобиля и дороги.



Рисунок 10.1 - Роль факторов риска и их сочетаний в возникновении ДТП

Все разнообразие мер, применимых в качестве основных инструментов для повышения безопасности дорожного движения, можно подразделить по основным факторам риска ДТП на три группы:

- 1) *повышение безопасности поведения участников дорожного движения* (фактор «человек») - предназначены для проведения мероприятий в рамках воспитательной, образовательной, законотворческой, политической, общественной деятельности, нацеленной на формирование безопасной модели поведения участников дорожного движения, посредством воспитания желательного и корректировки нежелательного поведения, а также для деятельности дорожных организаций в рамках аудита безопасности;
- 2) *повышение безопасности транспортных средств* (фактор «автомобиль») - предназначены для проведения мероприятий в рамках деятельности, направленной на повышение надежности и безопасности, как самих транспортных средств, так и их эксплуатации;
- 3) *повышение безопасности дорожной инфраструктуры* (фактор «дорога») - предназначены для проведения мероприятий в рамках деятельности, связанной с планированием, проектированием, строительством, содержанием и эксплуатацией, как отдельных объектов дорожной инфраструктуры, так и целых сетей.

Среди приведенных инструментов, реализуемых через различные мероприятия, нет единственного и радикального средства для повышения безопасности дорожного движения. Высокий уровень безопасности дорожного движения обеспечивается посредством:

- сотрудничества всех институтов, служб и организаций, имеющих отношение к проблеме безопасности дорожного движения;
- правильной расстановки приоритетов, когда решение первой проблемы снижает остроту следующей проблемы, намеченной для решения;
- планомерности и системности проведения мероприятий;
- экономической окупаемости общественных средств, направляемых на проведение мероприятий по повышению безопасности дорожного движения;
- мониторинга результативности мероприятий и использования приобретенного опыта при планировании последующей деятельности;

- оптимизации решения главной задачи любой транспортно-дорожной сети - обеспечения транспортных операций с минимальными затратами для общества и безопасностью выполнения этих операций.

#### 10.1.2 Факторы, связанные с человеком

Водитель должен быть постоянно готов к действиям в неожиданно меняющейся дорожной обстановке, что обеспечивается его устойчивостью и интенсивностью внимания. К важным профессиональным качествам следует отнести способность водителя прогнозировать дорожную обстановку и одновременно с этим следить за дорожными знаками, светофорами, дорожной разметкой, изменением дорог в плане и профиле и т.д. Длительность пребывания водителя в подобном состоянии определяется надежностью водителя. Надежность водителя характеризуется пригодностью, работоспособностью, подготовленностью, мотивацией.

**Пригодность** определяется личностными, психофизиологическими качествами водителя, состоянием его здоровья и выявляется в процессе медицинского освидетельствования, психофизиологического отбора претендента и сопоставления с заранее заданными критериями.

**Работоспособность** зависит от режима труда и отдыха, условий на рабочем месте, состояния здоровья, режима питания, употребления различных лечебных препаратов, образа жизни и т.д.

**Подготовленность** определяется наличием у водителя необходимого объема знаний и навыков, которые приобретаются в процессе профессионального обучения и в результате самообучения в процессе работы. Особую актуальность приобретают качество и эффективность учебного процесса, индивидуальные особенности обучаемого, свойства нервной системы и личностные характеристики.

**Мотивация** тесно связана с психологией и выражается в заинтересованности водителя в безопасном процессе работы, результатах труда, удовлетворенности работой в целом. Мотивом называется то, ради чего совершается то или иное действие. Именно мотивы, а не цели деятельности лучше всего раскрывают человеческие побуждения и могут объяснить поведение человека на дороге.

В большинстве случаев водители согласны, что безопасность дорожного движения важна, однако это не мешает им ежедневно подвергать себя опасности. Следовательно, их общее положительное отношение к безопасности подавляется некими мотивами к негативному поведению. Такими мотивами для водителей являются следующие: выгода (время, деньги); безопасность (физическая - боязнь боли, административная и социальная - боязнь наказания или осуждения окружающих); комфорт (достижение цели с меньшими физическими и эмоциональными усилиями); моральная удовлетворенность (удовольствие от самого процесса или достигнутого результата); социальное нивелирование (желание быть не хуже других); удовольствие от быстрой езды; самоутверждение

и т.д. Мотивация обеспечивается и поддерживается режимом труда, оплатой труда, условиями работы, состоянием транспортного средства, отношениями с администрацией и коллективом организации, многими другими факторами. Для прогнозирования поведения участников дорожного движения следует понимать и принимать во внимание мотивы их поведения.

Рассмотрим факторы, участвующие в формировании модели поведения человека за рулем автомобиля, и их влияние на риск ДТП. К таким факторам относятся *возраст, пол и опыт вождения, информированность, опасные состояния*.

#### Возраст и пол.

Мировая статистика свидетельствует, что риск ДТП максимален в случае управления автомобилем молодыми (до 25 лет) и пожилыми (старше 65 лет) водителями. При этом среди молодых водителей и водителей среднего возраста риск ДТП для мужчин значительно выше, чем для женщин, а среди водителей старшего возраста преобладает противоположная тенденция - риск ДТП для женщин старшего возраста выше, чем для мужчин этой же возрастной группы. Анализ показал, что женщины более осторожны и точнее выполняют правила дорожного движения, поэтому они реже создают опасные ситуации. Мужчины проявляют большую способность справляться с опасными ситуациями, но часто попадают в ДТП из-за чрезмерной самоуверенности и переоценки своих возможностей. Женщины, в свою очередь, попадают в ДТП из-за излишней осторожности, нерешительности и недооценки своих возможностей.

Относительно большая доля ДТП, приходящаяся на молодых водителей мужского пола, выявляет в основном проблему, обусловленную поведением, а для людей пожилого возраста - обусловленную физиологией, хотя опыт водителя старшего возраста способен компенсировать снижение его физических возможностей.

Распределение числа ДТП по возрасту водителей, выявленное в результате исследований, проведенных в Норвегии и Швеции, представлено в табл. 10.2, приведенные данные сопоставимы с данными других европейских стран.

Таблица 10.2

#### Влияние возраста водителя на число ДТП

Страна	19 - 20 лет	21 - 24 лет	25 - 44 лет	45 - 64 лет	65 - 74 лет	Старше 75 лет
Норвегия	3,1	1,6	0,7	0,8	0,8	3,3
Швеция	3,1	1,9	0,8	0,6	1,3	5,6

#### Опыт.

Мировой опыт показывает, что ДТП возникают, прежде всего, от недостатка опыта вождения. Периодом повышенного риска ДТП является первый год вождения, хотя фактор возраста также оказывает влияние. Риск ДТП максимален, когда за рулем находится молодой мужчина с опытом первого года вождения. Однако при стаже водителя 5 лет ( $\pm 2$  года) обнаруживается второй пик риска ДТП. Возникающие на первом году вождения ДТП обусловлены преимущественно недостатком опыта, увеличение риска ДТП на пятом году вождения имеет психологическую природу. К этому времени водитель приобретает устойчивые профессиональные навыки, что ведет к профессиональному автоматизму, действиям по привычной схеме, снижению внимания, недооценке серьезности возникающих нестандартных ситуаций и, как следствие, неполной реализации своих возможностей при их разрешении.

#### Информированность.

Большое влияние оказывает информированность водителей об общей статистике ДТП, периодах времени и участках дорожной сети с повышенным риском ДТП для данного района.

#### Опьянение.

Особое место в повышении риска ДТП в опасных состояниях занимает алкогольное опьянение водителя. Употребление алкоголя влияет на организм человека двойственно, ухудшая как психологические, так и соматические (телесные) функции, причем оба воздействия усиливают друг друга. В результате ослабляется общая реакция человека на происходящее, снижается его способность адаптироваться к условиям окружающей среды.

Мировой опыт показывает, что большинство ДТП, связанных с алкогольным опьянением водителей, возникает при принятии небольших доз алкоголя. Это объясняется тем, что, когда человек выпивает значительное количество алкоголя, он чувствует состояние опьянения. Если в таком состоянии человек решается сесть за руль, он старается вести автомобиль как можно осмотрительнее, чтобы компенсировать снижение своих физиологических функций. Однако если человек выпивает небольшую дозу, он, как правило, не ощущает опьянения, поскольку такая доза алкоголя тонизирует организм, человек ощущает подъем сил, не замечая одновременного снижения своих физиологических показателей. В результате он начинает неадекватно оценивать свои возможности и склонен недооценивать сложность и опасность ситуаций. Статистика подтверждает, что именно слабое алкогольное опьянение, незаметно снижающее физиологические функции человека, является наиболее опасным.

Употребление водителями наркотиков повышает риск аварийности минимум в 2,7 раза.

Утомление и усталость.

К опасным состояниям относятся также утомление и усталость, являющиеся различными понятиями. **Утомление** как комплекс физиологических изменений в организме человека, вызванных тяжелым или длительным трудом, является конфликтом между требованиями работы и физиологическим снижением работоспособности. По статистике, в течение двух сверхурочных часов работы аварийность и травматизм на производстве возрастают в 2,5 раза. Для ликвидации утомления необходим длительный отдых и сон. Также доказано, что риск ДТП появляется уже с появлением **усталости**, под которой подразумевается состояние, наступающее при монотонной, неинтересной работе, когда физиологическое снижение работоспособности еще не наступило.

Монотония.

В последние десятилетия с увеличением дальности поездок и скоростей движения появилась новая категория опасного состояния водителя - **МОНОТОНИЯ** - психическое состояние, вызванное: либо информационными перегрузками (многократным повторением одних и тех же движений и поступлением большого количества одинаковых сигналов в одни и те же нервные центры), либо информационной недостаточностью (однообразием восприятия, когда организм находится в условиях мало изменяющейся среды, например при длительном пребывании за рулем на протяженных прямых участках ровной дороги в условиях однообразной, неинтересной местности).

Монотония является следствием нарушения психической саморегуляции водителя и выражается состоянием усталости, «дорожного гипноза», заторможенности, сонливости. Для преодоления такого состояния водитель волевым усилием старается «стряхнуть» его с себя, поддерживая необходимый уровень внимания. В отличие от утомления, для устранения которого требуется относительно длительный отдых, монотония может быстро пройти при смене условий. Однако, если человек на протяжении длительного времени периодически переживает монотонию, происходит ее «накопление» и даже короткая монотонная поездка быстро приводит человека в заторможенное состояние. Чтобы психика человека пришла в норму после многократных переживаний монотонии, потребуется уже достаточно продолжительный отдых или даже лечение.

Результаты исследований, представленные в табл. 9.3, показывают, что вождение в течение продолжительного времени без перерыва снижает показатели внимания водителя и увеличивает время реакции, что влияет на риск аварийности: риск ДТП растет по мере увеличения количества часов непрерывной работы за рулем. Если показатель аварийности водителя при непрерывной продолжительности работы до 2 ч принять за единицу, увеличение непрерывной продолжительности работы до 5 ч повышает риск ДТП на 23 %.

На основании результатов таких исследований устанавливаются регламенты рабочего времени и времени отдыха водителя по максимальной

Основы теории надежности и диагностики

продолжительности работы без перерыва и максимальной ежедневной продолжительности вождения.

Исследования подтверждают, что вождение без соблюдения регламентированного перерыва после 4,5 ч работы и максимальной продолжительности суточной работы за рулем 9 ч приводит к увеличению риска ДТП. Превышение максимальной продолжительности суточной работы водителя приводит к большему увеличению риска ДТП, чем вождение без перерывов (табл. 9.3).

Таблица 10.3

Влияние непрерывной продолжительности работы водителя на относительный риск ДТП

Непрерывная продолжительность работы водителя, ч	Относительный риск ДТП	Пределы колебаний относительного риска ДТП
0...2	1	-
2...5	1,23	1,05 - 1,45
5...8	1,29	1,08 - 1,53
Более 8	1,8	1,2 - 2,7

Соотношение труда и отдыха.

На риск ДТП также влияет продолжительность перерывов между работой, в большей степени это касается продолжительности суточного отдыха и недельного рабочего времени у водителей. Влияние продолжительности суточного отдыха водителей на риск ДТП можно рассмотреть на примере исследований безопасности выполнения грузовых перевозок:

Продолжительность отдыха водителя грузового автомобиля, ч	Относительный риск ДТП
До 10,5.....	1,00
10,5...13,75.....	0,88
13,75...25,75.....	0,87
Более 25,75.....	0,81

По нормативам наименьшее допустимое время отдыха составляет 11 ч.

Влияние прерываний суточного отдыха на риск ДТП можно представить на основе исследований, проведенных в США. Американские водители междугородних маршрутов отдыхают в автомобиле. Было исследовано влияние прерывистого суточного отдыха таких водителей (например, перерывы в вождении 2 раза по 4 ч) на риск ДТП со смертельным исходом. Было показано, что водители, которые отдыхали с перерывами, имели риск попадания в ДТП со

Основы теории надежности и диагностики

смертельным исходом в 3,5 раза выше (пределы колебаний 2,36 - 3,94), чем водители с обычным режимом отдыха.

Проведенные в Норвегии исследования показали влияние на аварийность продолжительности недельного рабочего времени, количества сверхурочных часов в течение предыдущего месяца, а также фиксированного или сменного режима работы водителя (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Влияние продолжительности рабочего времени водителей на относительный риск ДТП

Характеристики продолжительности рабочего времени	Относительный риск ДТП	Пределы колебаний относительного риска ДТП
Рабочая неделя		
До 30 ч	1	-
30... 37,5 ч	1,57	1,19-2,07
Сверхурочное время в месяц		
0	1	-
1...10 ч	1,4	0,95-2,08
10...20 ч	1,47	1,07-2,01
20...30 ч	1,4	0,95-2,08
Более 30 ч	1,29	0,91-1,83
Сменность работы		
Работа только днем	1	-
Сменная работа	2,02	1,61-2,54

Здоровье и интеллект водителя.

Существует также тесная связь между риском ДТП и некоторыми хроническими заболеваниями водителей, лишь очень малое число ДТП (примерно 0,1 %) происходит при внезапном ухудшении состояния здоровья. Так, у водителей с сердечно-сосудистыми заболеваниями степень риска ДТП на 35...40 % выше, чем у водителей без этих заболеваний. Водители-диабетики обладают степенью риска ДТП на 20 % выше риска здорового водителя. Опасность для водителей также представляют заболевания, сопровождаемые приемом препаратов успокоительного характера, например прием лекарственных средств при психических заболеваниях, включая медикаменты, влияющие на центральную нервную систему, оказывающие расслабляющее действие на мышцы, опьяняющее или бодрящее действие, что увеличивает риск ДТП в 2 раза.

Водители с низким уровнем интеллекта (с низкой грамотностью) обладают на 20 % более высоким риском ДТП, чем водители с нормальным мышлением (уровень интеллекта равен 100).

## 10.1.3 Факторы, связанные с транспортным средством

К факторам, связанным с транспортным средством и определяющим потенциальный риск ДТП и его тяжесть, можно отнести выбор способа передвижения, размеры и массу транспортных средств, мощность двигателя и скоростные характеристики, техническое состояние и оборудование транспортных средств.

**Выбор способа передвижения.** На рис. 10.2 представлен риск ранения при различных способах передвижения - численность раненых на 1 млн. чел.-км.

Показатели риска построены на основе данных о ДТП с участием транспортных средств, для многих стран их значения одинаковы.



Рисунок 10.2 - Средний риск ранения при различных способах передвижения

Цифры относятся и к водителям, и к пассажирам, пользующимся разными способами передвижения.

Способы передвижения или участников дорожного движения можно разделить на две группы. К *первой группе*, имеющей высокий риск ранения и тяжесть последствий ДТП, относятся пешеходы, велосипедисты и люди, передвигающиеся на мопеде или мотоцикле, *ко второй* - водители и пассажиры иных транспортных средств.

Данное разделение обусловлено тем, что пешеходы, велосипедисты, мотоциклисты не имеют такой защиты от ранений, как водители и пассажиры транспортных средств.

**Размеры и масса транспортного средства.** В случае ДТП водитель и пассажиры автомобиля оказываются более защищенными, чем, например, мотоциклист. Находясь в большом автомобиле, водитель и пассажиры защищены лучше, чем в маленьком. Согласно исследованиям риск гибели в ДТП уменьшается примерно в 2 раза на каждые 800 кг дополнительной массы

автомобиля. При массе автомобиля 2400 кг относительный риск гибели в ДТП составляет 1, при 1600 кг - 2, при 800 кг - 4.

Размер автомобиля определяет степень безопасности водителя и пассажиров при любом столкновении (с движущимся автомобилем или с неподвижным объектом). Чем больше автомобиль, тем длиннее передние и задние зоны его конструкции, тем более защищен его каркас безопасности от повреждений, тем меньше ударные усилия и тяжесть последствий ДТП для пассажиров внутри салона.

**Мощность двигателя и скоростные характеристики.** Этот фактор тесно связан с другими факторами риска, например масса и размер автомобиля, личные качества водителя, пробег автомобиля и т.д. Однако некоторые исследования свидетельствуют о том, что автомобили с высокой мощностью имеют риск ДТП выше на 15...20 % по сравнению с обычной мощностью при одинаковой массе автомобиля, т. е. риск ДТП повышается с увеличением мощности двигателя. Эту закономерность можно объяснить тем, что наличие высоких характеристик провоцирует водителя использовать полные возможности автомобиля и демонстрировать его качества окружающим.

**Техническое состояние и оборудование транспортных средств.** Мировые исследования подтверждают, что наличие обязательной сертификации и технического контроля при регистрации транспортных средств в сочетании с периодическим техническим осмотром влияет на безопасность дорожного движения и это влияние определяет требования, предъявляемые к транспортным средствам, которые постоянно ужесточаются.

Проведенные в США исследования показали, что риск ДТП для грузовых автомобилей с техническими неисправностями возрастает на 60...70 % по сравнению с грузовыми автомобилями в нормальном техническом состоянии. Также результаты американских исследований подтверждают, что ужесточение требований по техническому состоянию автомобилей и конструктивной безопасности позволяют сократить численность погибших в ДТП на 30 %.

#### 10.1.4 Факторы, связанные с дорогой

Надежностью автомобильной дороги как комплексного транспортного сооружения является способность обеспечивать безопасное расчетное движение транспортного потока со средней скоростью, близкой к оптимальной, в течение нормативного или заданного срока службы дороги при достаточных значениях других показателей.

Критериями эксплуатационной надежности автомобильных дорог являются следующие:

- непрерывное, безопасное и удобное движение транспортных средств;
- работоспособность как состояние дороги, при котором она выполняет заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации;
- фактический, по сравнению с требуемым, срок службы дороги;

Основы теории надежности и диагностики

- степень запаса по пропускной способности и прочности дорожной одежды;
- ремонтпригодность как приспособление сооружения к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий проведением ремонтов и технического обслуживания.

К дорожным факторам, определяющим потенциальный риск ДТП, можно отнести тип дороги, ее геометрические параметры, число пересечений и примыканий второстепенных дорог, обустройство перекрестков, скоростной режим.

**Геометрические параметры дороги.** Ширина полосы движения и проезжей части являются важными факторами, влияющими на безопасность движения. Например, при ширине полосы дороги вне населенного пункта 3 м во время встречных разъездов безопасность обеспечивается лишь на небольшой скорости. В противном случае возможно столкновение или съезд транспортных средств на обочину. На дорогах низших категорий обочина не имеет усовершенствованного покрытия, поэтому съезд на нее может привести к боковому скольжению и опрокидыванию транспортного средства.

При ширине полосы 3,5 м безопасность разъезда существенно повышается. Полоса движения шириной 3,75 м допускает встречный разъезд транспортных средств без снижения скорости, даже если она близка к предельной у обоих транспортных средств.

На дорогах с неоднородными условиями движения (крутые повороты, уклоны, чередующиеся с прямыми участками) относительное число ДТП выше по сравнению с дорогами, обеспечивающими плавные и спокойные условия движения. Среднее соотношение между радиусами горизонтальных кривых и числом ДТП с пострадавшими на 1 млн. авт.-км следующее:

Радиус кривой	Относительный риск ДТП
Прямой участок.....	1
400 м и более.....	1,5 - 2
400...200 м.....	2 - 4
200... 100 м.....	4 - 8

**Пересечения и примыкания.** По статистике, с увеличением числа пересечений и примыканий на 1 км дороги число ДТП возрастает, поскольку возрастает вероятность неправильной оценки ситуации и возникновения ошибок водителей:

Число пересечений и примыканий на 1 км дороги	Относительный риск ДТП
0 - 5.....	1
6 – 15.....	1,25 - 2,5
16 – 30.....	1,75 - 3
30 и более.....	2,5 - 6

Для пешеходов и велосипедистов по мере возрастания плотности пересечений и примыканий к главной дороге риск ДТП возрастает в большей степени, чем для остальных участников дорожного движения.

**Обустройство перекрестков.** К основным факторам риска ДТП, связанным с обустройством перекрестков, относятся число пересекающихся дорог, доля транспортных средств, въезжающих со второстепенных дорог на главную, способ организации движения на перекрестке, скоростной режим, техническая оснащенность перекрестка и качество его содержания.

В мировой практике зависимость между скоростью движения на перекрестке и относительным числом ДТП выглядит следующим образом (табл. 10.5).

Таблица 10.5

Зависимость числа ДТП от скорости движения на перекрестке

Изменение средней скорости движения, %	Изменение числа ДТП с ранеными, %	Изменение числа ДТП с погибшими, %
+15	+(35...45)	+(70...80)
+10	+(20...30)	+(50...60)
+5	+(10...15)	+(20...30)
-5	-(10...15)	-(15...25)
-10	-(15...25)	-(30...40)
-15	-(25...35)	-(40...50)

Примечание. Знак «+» - увеличение, знак «-» - уменьшение.

Наблюдаемая закономерность усугубляется под влиянием внешних факторов, например, при неблагоприятных погодных условиях, проведении дорожных работ.

#### 10.1.5 Факторы, связанные с внешней средой

К факторам, связанным с внешней средой, увеличивающим потенциальный риск ДТП, относятся темное время суток, неблагоприятные погодные условия, опасное состояние дорожного покрытия, перегруженность дороги транспортными средствами, проведение дорожно-ремонтных работ. Эти факторы взаимосвязаны с дорожными, они увеличивают число ДТП, усиливая нагрузку на психику человека и требуя от него принятия решений в нестандартных ситуациях.

**Темное время суток.** Установлено, что в темное время суток относительное число ДТП примерно в 1,5 - 3,5 раза выше по сравнению со светлым временем. Такое соотношение определено условиями плохой видимости и тем, что ночью за рулем может быть больше водителей в состоянии алкогольного опьянения, утомленных, а поэтому менее внимательных. Неблагоприятные погодные условия ночью оказывают более негативное влияние, чем днем.

**Неблагоприятные погодные условия.** Статистические данные подтверждают, что во время осадков число ДТП увеличивается. Выявлены закономерности, что неожиданные осадки после продолжительного сухого периода вызывают резкое увеличение риска ДТП, а затяжные осадки вызывают адаптацию водителей, в результате чего число ДТП постепенно уменьшается.

**Состояние дорожного покрытия.** На скользком дорожном покрытии, сразу после наступления гололеда, риск возникновения ДТП возрастает. По мере адаптации водителей к сложным дорожным условиям число ДТП постепенно уменьшается, влияние неблагоприятного внешнего фактора снижается.

Влияние состояния дорожного покрытия на относительный риск ДТП следующее:

Состояние дорожного покрытия	Относительный риск ДТП
Сухое чистое.....	1
Влажное чистое.....	1,3
Грязное.....	1,5
Покрытое твердым снегом.....	2,5
Покрытое снегом и льдом.....	4,4

Неровности дорожного покрытия в сочетании с неблагоприятными погодными условиями способствуют увеличению риска ДТП.

В северных районах, характеризующихся продолжительными и холодными зимами, существуют недостаточные условия видимости и сцепные качества дорожных покрытий. Наличие снега и льда увеличивает тормозной путь и опасность потери контроля над управлением транспортных средств. Снежные заносы вдоль дороги снижают видимость и уменьшают используемую ширину проезжей части дороги. Низкий коэффициент сцепления приводит к увеличению тормозного пути.

**Перегруженность дороги транспортными средствами.** Движение в насыщенном транспортном потоке характеризуется повышенной нагрузкой на психику водителей, поскольку движение в таких условиях требует от водителя быстрой реакции, напряженного внимания, прогнозирования действий других водителей, а также ограничивает возможности для маневра. Возрастает число ошибок участников дорожного движения, конфликтных ситуаций, что приводит к росту числа ДТП:

Уровень транспортной перегруженности на дорогах (число ДТП на 1 млрд. авт.-км) общего пользования	Относительный риск ДТП
Менее 0,8.....	47,8
0,8 – 1.....	60,5
1,08 - 1,25.....	78,0
1,258 - 1,5.....	80,6
1,58 - 2.....	89,7
Более 2.....	103,9

**Проведение дорожно-ремонтных работ.** Наличие на дороге участков, где проводятся дорожно-ремонтные работы, создает препятствие для плавного движения транспортного потока, ограничивает пропускную способность дороги. На

Основы теории надежности и диагностики

таком участке может возникать перегруженность дороги, что приводит к увеличению риска ДТП. Дорожные работы выступают как фактор неожиданности для водителя, особенно это опасно на участке, которым водитель привычно пользуется ежедневно.

Для предотвращения негативных последствий проведения дорожно-ремонтных работ рекомендуется:

- использование средств сигнализации для привлечения внимания водителей, особенно в темное время суток;
- информирование о проведении на дороге дорожно-ремонтных работ через средства массовой информации и сообщение об альтернативных маршрутах движения для разгрузки участка с ограниченной пропускной способностью;
- использование эффекта присутствия представителей ГИБДД МВД России на подъездах к опасным участкам.

Контрольные вопросы

1. Назовите три группы мер, применимых в качестве основных инструментов для повышения безопасности дорожного движения.
2. Какими четырьмя параметрами характеризуется надежность водителя?
3. Факторы, участвующие в формировании модели поведения человека за рулем автомобиля, и их влияние на риск ДТП.
4. Назовите факторы, связанные с транспортным средством и определяющие потенциальный риск ДТП и его тяжесть.
5. Что относится к дорожным факторам, определяющим потенциальный риск ДТП?
6. Что относится к факторам, связанным с внешней средой, увеличивающим потенциальный риск ДТП?

-----