

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

  
Руководитель ОПОП ВО  
Профессор А.С. Афанасьев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ  
СЕРВИСНОМ ОБСЛУЖИВАНИИ**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Уровень высшего образования:</b> | Подготовка кадров высшей квалификации              |
| <b>Направление подготовки:</b>      | 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта |
| <b>Направленность (профиль):</b>    | Эксплуатация автомобильного транспорта             |
| <b>Форма обучения:</b>              | очная  |
| <b>Нормативный срок обучения:</b>   | 4 года   |
| <b>Составитель:</b>                 | к.в.н., профессор А.С. Афанасьев                   |

Санкт-Петербург

## Практическое задание №1

### Модели и алгоритмы диагностирования

**1. Цель работы** – изучение основных алгоритмов и моделей диагностирования автомобилей.

#### **Задачи:**

- получить знания по изучению алгоритмов и моделей диагностирования;
- составить отчет о проделанной работе.

#### **1. Теория**

##### **1.1. Диагностические модели и алгоритмы контроля технического состояния**

В зависимости от назначения используются *модели контроля технического состояния* и *модели поиска неисправностей*.

Диагностические модели поиска неисправностей подразделяются:

- на однопараметрические модели прямого измерения структурного параметра;
- однопараметрические модели оценки технического состояния по диагностическому параметру, в том числе полученного косвенным измерением или вычислением по результатам измерений;
- диагностические матрицы;
- условные многоступенчатые алгоритмы диагностирования.

В качестве моделей контроля технического состояния АТС используют сравнительно простые однопараметрические модели прямого и косвенного измерения диагностических и структурных параметров и сравнения их с допусками. Эти модели допускового контроля служат для определения вида технического состояния АТС или работоспособности их компонентов.

Однопараметрические модели оценки постепенного изменения технического состояния доступны для прямого измерения структурными параметрами. Возможность прямого измерения структурного параметра при диагностировании АТС служит редким исключением. Примерами служат лишь параметры остаточной толщины тормозных накладок, глубины протектора шин и углов установки управляемых колес. Эти однопараметрические модели дают детерминированные оценки технического состояния.

Оценки технического состояния по диагностическому параметру носят, как правило, вероятностный характер. Они широко применяются при поиске неисправностей и контроле технического состояния АТС. В числе таких однопараметрических моделей, например, предназначенные для оценки люфта карданной передачи. Однопараметрические модели технического состояния применимы в разной степени и к монотонно, и к циклически изменяющимся диагностическим параметрам.

Для проверки объектов, характеризующихся однопараметрическими моделями технического состояния, используют простейшие алгоритмы допускового контроля (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм единичной операции допускового контроля непосредственно проверяемого параметра (признака)

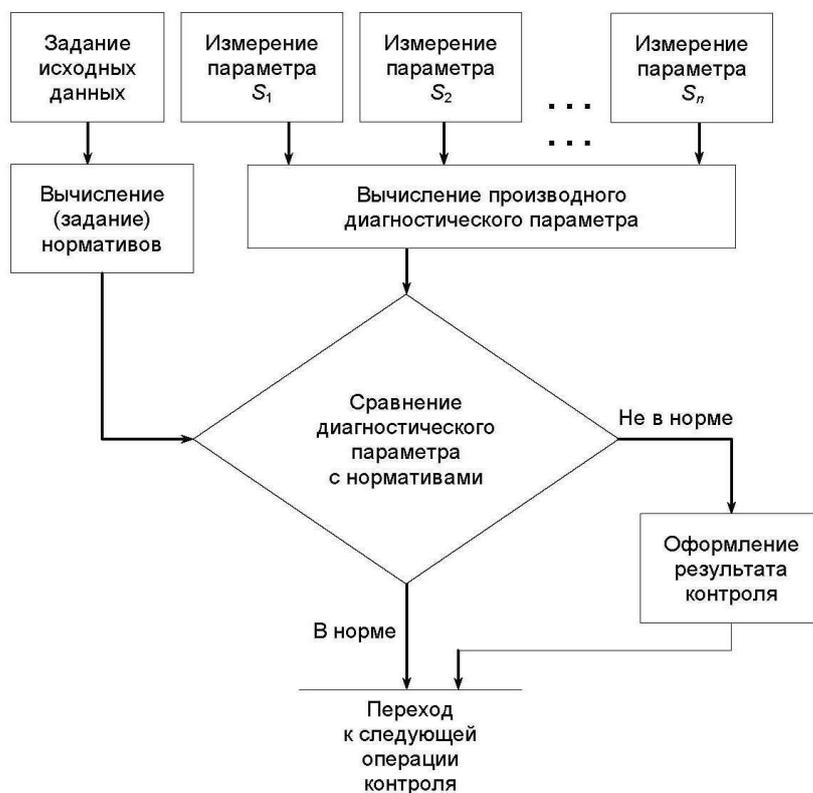


Рис. 2. Алгоритм единичной операции допускового контроля параметра, вычисленного по показателям непосредственно измеряемых параметров

При контроле технического состояния АТС по параметрам эксплуатационных

свойств часто вместо сравнения с нормативами показателей непосредственно измеряемых параметров приходится по этим показателям предварительно вычислять производные диагностические параметры, которые уже и подвергаются сравнению с нормативами, а вместо предварительно заданных фиксированных нормативов вычислять их значения для каждого конкретного АТС. В таких случаях алгоритм единичной операции технического контроля заметно усложняется (рис. 2).

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендованный)**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- в рабочих тетрадях отражают диагностические модели и алгоритмы контроля технического состояния.

### **4. Отчет**

Практическая работа: «Модели и алгоритмы диагностирования».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## **Практическое занятие №2**

### **Углубленное диагностирование**

**1. Цель работы** - определение характера неисправностей и изучение углубленного или поэтапного диагностирования.

#### **Задачи:**

- приобретение знаний по реализации углубленного диагностирования;
- составить отчет о проделанной работе.

### **2. Теория**

#### **2.1. Поэлементное диагностирование**

Поиск (или определение характера) неисправностей, именуемый также распознаванием неисправностей, в терминах автомобильной диагностики названный углубленным или поэтапным диагностированием, требует использования наибольшего числа диагностических параметров, сопоставимого с количеством распознаваемых неисправностей. Каждый из наиболее сложных агрегатов и систем современных АТС диагностируют по десяткам параметров из многих сотен их общего числа.

Процедуры поиска неисправностей реализуются моделями «диагностических матриц» и на порядок более сложными условными многоступенчатыми (или многоуровневыми) алгоритмами диагностирования. Для получения диагностических

матриц реальное множество параметров внутреннего технического состояния объекта, каждый из которых может принимать бесконечное множество значений в определенном интервале, преобразуют в конечное множество структурных параметров  $\{x_i\}$ , принимающих только одно из двух значений 0 или 1, соответствующих отсутствию или наличию неисправности, соответственно. Таким образом, переменная  $x_i$  лишь условно отражает только наличие, или отсутствие  $i$ -ой неисправности объекта.

Наиболее наглядной, удобной и потому распространенной моделью, связывающей искомые неисправности с диагностическими параметрами, служит диагностическая матрица или таблица неисправности.

Для поиска неисправностей (поэлементного или углубленного диагностирования) с использованием диагностической матрицы помимо создания средств технического диагностирования необходимо предварительно выполнить ряд работ и подготовить следующие исходные данные.

1. Перечень характерных (наиболее вероятных) неисправностей;
2. Совокупность диагностических параметров, отражающих локализацию наиболее вероятных неисправностей;
3. Номенклатуру диагностических нормативов;
4. Диагностическую матрицу.

Поиск неисправностей по диагностической матрице с предварительной проверкой всех предусмотренных в ней диагностических признаков и последующим анализом результатов после завершения проверок будет неприемлемо трудоемким. Поэтому с 1990 г. начались разработки экспертных систем с использованием искусственного интеллекта (как они именовались тогда в России), несших функцию информационной системы-подсказчика для диагностов при поиске неисправностей по ветвящемуся алгоритму. Эти системы помогают выбрать более короткий алгоритм поиска и приблизить к минимальному число используемых диагностических признаков, воспроизводя зафиксированные в нем решения предварительно опрашиваемых наиболее квалифицированных диагностов.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый)**

- аспиранты изучают теорию вопроса и делают краткие записи;
- анализируют методику углубленного диагностирования.

#### **4. Отчет**

Практическая работа: «Углубленное диагностирование»

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## Практическое занятие №3

### Алгоритмы поиска неисправностей

**1. Цель работы** – изучить алгоритмов поиска неисправностей.

**Задачи:**

- изучить алгоритмы поиска неисправностей;
- составить отчет о проделанной работе.

### 2. Теория

#### 2.1. Алгоритмы поиска неисправностей

В современной автомобильной диагностике для поиска неисправностей вместо диагностических матриц применяют условные и безусловные алгоритмы поочередного выполнения проверок диагностических признаков в рациональной последовательности с пошаговым анализом после каждой проверки совокупных результатов последней и предшествующих проверок. Это менее трудоемкий метод диагностирования по сравнению с использованием диагностических матриц.

*Безусловные алгоритмы*, предписывающие заранее установленный порядок выполнения проверок, удастся использовать лишь в сравнительно редких случаях, в виде фрагментов более разветвленных и обширных алгоритмов, на наиболее отработанных и статистически хорошо изученных этапах поиска неисправностей.

В абсолютном большинстве случаев приходится использовать *условные алгоритмы поиска*, в которых порядок выполнения проверок зависит от совокупных результатов всех предшествующих проверок. Основу этих алгоритмов составляют те же представления о связях неисправностей с диагностическими признаками, что и в диагностических матрицах. Однако объем данных об этих связях недостаточен для уверенной количественной оценки вероятностей неисправностей и трудозатрат на проведение каждой из проверок. В результате разработчики лишены возможности дать диагностам набор минимальных по трудоемкости безусловных алгоритмов поиска неисправностей для каждого типа транспортного средства для каждого из вероятных сочетаний диагностических признаков. Задачу еще более усложняет вполне вероятная возможность наличия случайного сочетания одновременно нескольких неисправностей АТС.

Daimler AG одним из первых разработал и внедрил подобный комплекс в своих информационных системах на фирменных СТОА под названием пятиуровневый алгоритм поиска и устранения неисправностей АТС Mercedes. Этот алгоритм служит основой фирменной подготовки и последующей практической работы сертифицированных диагностов автомобилей Mercedes. В общем

виде структура этого пятиуровневого алгоритма применительно к поиску только одной неисправности в конструкции АТС приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура алгоритма ремонта с диагностированием АТС.

Диагност планирует варианты проверок выделенной области, учитывая наиболее вероятные неисправности и возможности наименее трудоемких проверок. Исходя из функциональных связей и структуры выделенной части конструкции АТС, диагност выстраивает последовательность ее частичных разборок и проверок. Уточняется конструкция, схема и нормативы параметров проверяемой части конструкции, доступность проверок, необходимые разборы и средства измерений.

При каждом разветвлении условного алгоритма выполнение очередной проверки или частичной разборки АТС открывает в общем случае выбор из нескольких возможных вариантов проверки или разборки. Эти разветвления направлений поиска неисправностей и осуществляемый на них выбор конкретной операции разделяют шаги выполнения алгоритма (рис. 2).



Рис. 2. Условный алгоритм последовательного поиска и устранения неисправностей АТС

### 3. Порядок выполнения работы

#### 3.1. Порядок действий (рекомендованный)

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- знакомятся с алгоритмом поиска неисправностей.

#### 4. Отчет

Практическая работа: «Алгоритмы поиска неисправностей».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## Практическое занятие №4

### Требования к техническому состоянию АТС при эксплуатации

1. **Цель работы** – приобретение практических навыков изучения требований к техническому состоянию АТС при эксплуатации.

**Задачи:**

- определение требований к техническому состоянию АТС при эксплуатации;
- составить отчет о проделанной работе.

## 2. Теория

### 2.1. Требования к техническому состоянию АТС при эксплуатации

В требованиях к техническому состоянию указывают компонент АТС, к которому предъявляется требование, диагностические параметры и нормативы для каждого из допускаемых к применению методов проверки.

Для разных стадий жизненного цикла органы государственной власти устанавливают через нормативные документы два рода обязательных требований к безопасности конструкций (например, для одобрения типа транспортного средства) и к техническому состоянию АТС при эксплуатации (рис. 1).



Рис. 1. Комплекс действующих систем требований к безопасности автотранспортных средств.

Соответствие АТС этим требованиям проверяют в разных организационных системах, в которых конструкцию и техническое состояние АТС подвергают испытаниям

или проверке. Примерами могут служить системы одобрения типа транспортного средства и технического осмотра. Даже для эксплуатации предусмотрены разные системы требований, например, для технического осмотра и выпуска АТС на линию у юридических лиц.

К одним и тем же компонентам АТС возможно предъявление разных систем эксплуатационных требований по разным диагностическим параметрам. В одном случае – это могут быть требования с целью обеспечения безопасности, а в другом – при восстановлении работоспособности АТС – с целью обеспечения экономичности эксплуатации.

Например, к рабочей тормозной системе при эксплуатации предъявляют требования по удельной тормозной силе и относительной разности тормозных сил колес оси, а к ее работоспособности при ТО и ремонте – к тормозным силам колес, их биению, сопротивлению вращения незаторможенных колес, времени срабатывания тормозной системы и давлению в тормозном приводе.

Кроме того, при предвыездном контроле магистральных автопоездов, эксплуатируемых на магистральных перевозках, и при выпуске автобусов на линию или возврате с линии на лицензируемых пассажирских перевозках используются требования, утверждаемые руководителями автопредприятий. Эти требования обязательны только для персонала конкретного предприятия.

Принципы обоснования требований к безопасности конструкций и технического состояния АТС разные (табл. 1).

*Таблица 1*

Принципы обоснования требований к безопасности конструкций и технического состояния АТС

| К техническому состоянию   | К конструкции                                      |
|--|--|
| 1  | 2  |
| Грубая оценка снижения безопасности АТС от уровня конструктивной безопасности                                | Наиболее полная оценка свойств безопасности АТС    |
| Применение национальных эксплуатационных требований, отличных от предъявляемых к конструктивной безопасности | Использование международной системы Правил ЕЭК ООН |
| 1  | 2  |

|   |  |
|---|--|
| Требования предъявляют:<br>- к признакам неисправностей по структурным (или конструкционным) параметрам;<br>- функционированию составных частей;<br>- параметрам частных эксплуатационных свойств АТС | Использование требований:<br>- к параметрам частных эксплуатационных свойств безопасности АТС;<br>- структурным (конструкционным) параметрам |
| Введение эксплуатационных групповых и индивидуальных (для типа АТС) нормативов  | Использование конструкционных нормативов Правил ЕЭК ООН  |
| Использование эксплуатационных методов проверки технического состояния на гаражной производственно-технической базе   | Использование полигонных методов сертификационных испытаний по Правилам ЕЭК ООН  |

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендованный)**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- определяют требования к техническому состоянию АТС при эксплуатации.

#### **4. Отчет**

Практическая работа: «Требования к техническому состоянию АТС при эксплуатации»

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

### **Практическое занятие №5**

#### **Технология диагностирования в системе ТО и ТР**

**1. Цель работы** – приобретение практических знания технологии диагностирования в системе ТО и ТР.

##### **Задачи:**

- изучить технологию диагностирования;
- составление отчета о проделанной работе.

#### **2. Теория**

##### **2.1. Технологии диагностирования в технической эксплуатации АТС**

Диагностирование в сфере эксплуатации автомобильного транспорта применяется в трех основных организационных формах:

- поиска неисправностей (углубленного или поэтапного диагностирования) при выполнении ремонта;

– выделенных операций проверок и регулировок компонентов АТС в составе технологических процессов ТО и ремонта;

– контроля технического состояния (общего диагностирования) АТС.

Прогнозирование технического состояния АТС как самостоятельная форма работ на автомобильном транспорте пока не освоено. Общее диагностирование и ряд операций поэлементного диагностирования АТС сочетаются с обязательными визуальными проверками, выполняемыми органолептическими методами.

Области применения указанных видов диагностирования приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Формы применения основных видов диагностирования АТС

| Вид диагностирования по ГОСТ 20911-89                       | Формы диагностирования   | Технологические процессы обеспечения работоспособности АТС  |
|---|--|---|
| 1. Контроль технического состояния (общее диагностирование) | Проверка безопасности АТС  | Технический осмотр. Предвыездной осмотр. Предрейсовый осмотр  |
|   | Выявление наличия неисправностей агрегатов, систем и узлов АТС           | Приемка в ТО и ремонт. Выпуск из ТО и ремонта. Технологии ТО и ремонта. Предпродажная подготовка. Купля-продажа АТС. Списание АТС |
| 2. Поиск неисправностей (поэлементное диагностирование)     | Распознавание (локализация) неисправностей                               | Приемка в ТО и ремонт. Технологические процессы текущего ремонта  |
| 3. Отдельные операции диагностирования узлов и систем       | Диагностирование, совмещенное с технологическими процессами ТО и ремонта | Выполнение регулировок. Д-1 и Д-2 при ТО-1 и ТО-2   |

Поэлементное (углубленное) диагностирование применяется только в технологических процессах текущего ремонта или перед его выполнением. В остальных технологических процессах ТО и ремонта применяются разрозненные операции контроля технического состояния (общего диагностирования). Это и регулировка углов установки управляемых колес при ТО и ремонте, и проверка износа протектора шин, и проверки свечей зажигания или АКБ при ТО, и технический осмотр.

В российских условиях эксплуатации автомобильного парка наиболее актуальными

направлениями расширения применения и развития диагностирования в целях воздействия на его работоспособность следует считать:

1. законодательное введение обязательности для изготовителей включения диагностирования в технологии ТО и ремонта АТС;
2. расширение применения диагностирования на фирменных автотранспортных и автосервисных предприятиях, в том числе при ремонте и выпуске АТС из ТО и ремонта;
3. развитие встроенных (бортовых) средств контроля и диагностирования АТС;
4. ускорение процессов обновления автомобильных парков юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и АТС физических лиц;
5. совмещение ТО с техническим осмотром АТС на АТП.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендованный)**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- определяют технологию диагностирования в системе ТО и ТР.

### **4. Отчет**

Практическая работа: «Технология диагностирования в системе ТО и ТР»

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## **Практическое занятие № 6**

### **Обеспечение работоспособного состояния АТС при изготовлении**

**1. Цель работы** – закрепить практические навыки обеспечения работоспособного состояния АТС при изготовлении.

#### **Задачи:**

- изучить основные принципы обеспечения работоспособного состояния АТС;
- представить вариант выполнения расчетов.

### **2. Теория**

#### **2.1. Системные принципы обеспечения работоспособности АТС**

Деятельность по обеспечению работоспособного технического состояния автомобильного парка строится на основополагающих организационно-технологических принципах, универсальных для всех автомобилизированных стран.

1. Обязанность по своевременному проведению работ ТО и ремонта федеральным законодательством возложена на владельцев АТС.

2. Нормы, правила, технологии и процедуры ТО и ремонта АТС согласно законодательству устанавливаются заводами-изготовителями.

3. Работоспособность АТС после их выпуска в обращение обеспечивается посредством замены отказавших компонентов и рабочих жидкостей на новые или отремонтированные, восстановления регулировок и крепления компонентов на основе предназначенных для эксплуатации «гаражных» технологий ТО и ремонта с использованием механизированного и ручного труда.

4. Выполнение работ по ТО и ремонту АТС в послегарантийный период эксплуатации допускается вне систем фирменного обслуживания изготовителей и без их технологической или информационной поддержки на эксплуатирующих автотранспортных предприятиях и в автосервисе.

5. Обязательный контроль технического состояния автомобильного парка при эксплуатации предусмотрен федеральным законодательством только в форме технического осмотра и только в отношении безопасности, а также дополнительно для некоторых частей автомобильного парка, используемых на лицензируемых перевозках пассажиров, перевозках опасных, крупногабаритных и тяжеловесных грузов.

6. Контроль технического состояния, планирование постановки на ТО и выполнение работ ТО и ремонта организуется индивидуально по каждому АТС.

7. Выполнение части операций по обеспечению работоспособности АТС предусмотрено в плановом порядке, через установленные интервалы наработки АТС, и именуется техническим обслуживанием (ТО).

На этих принципах базируется повсеместно допускаемая организация выполнения работ ТО и ремонта АТС без поддержки изготовителя, вне сферы фирменного сервисного обслуживания. Подобная практика более характерна для сервиса бытовой техники, а не таких технически сложных и опасных объектов, как АТС. Тем не менее то, что не допускается в авиации или в гидроэнергетике, практикуется в технической эксплуатации автомобильного транспорта.

Для обобщающей оценки технического состояния АТС при эксплуатации используются три критерия работоспособности АТС:

1. физическая невозможность выполнения АТС транспортной работы или затрудненность для водителя управлять АТС вследствие неисправностей;
2. несоответствие АТС требованиям к их безопасности в эксплуатации, установленным федеральными органами исполнительной власти;
3. экономическая нецелесообразность использования АТС по назначению вследствие ухудшения его технического состояния.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендованный)**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- производят анализ метода обеспечения работоспособного состояния АТС при изготовлении.

#### **4. Отчет**

Практическая работа: «Обеспечение работоспособного состояния АТС при изготовлении»

1. Цель работы.
2. Результаты расчетов и краткие выводы.

### **Практическое занятие №7**

#### **Поддержание и восстановление технического состояния АТС при эксплуатации**

**1. Цель работы** – усвоить основные правила поддержания и восстановления технического состояния АТС при эксплуатации.

##### **Задачи:**

- изучение организации поддержания и восстановления технического состояния АТС;
- составить отчет о проделанной работе.

#### **2. Теория**

##### **2.1. Деятельность изготовителей по обеспечению работоспособного технического состояния АТС в эксплуатации**

Ресурс АТС (до капитального ремонта или списания), устанавливаемый изготовителем, или реализуемый в странах, где изготовители не устанавливают этот ресурс, многократно превышает ресурс абсолютного большинства компонентов АТС. Исключение составляют лишь считанные детали гарантированной прочности в составе тормозного и рулевого управлений и единичные базовые детали (рама, картер ведущего моста, основание автобуса). Но требований к ресурсу этих деталей не установлено.

В настоящее время изготовители обеспечивают высокое техническое состояние АТС за счет качества их конструкций и изготовления, регламентации выполнения ТО и ремонта, поддержки фирменных систем технического обслуживания и предпродажной подготовки (рис. 1).



Рис. 1. Основные направления деятельности изготовителей по обеспечению работоспособного технического состояния АТС

Повышение качества серийного производства ограничивается его технологическим уровнем и зависит от организации сертификации АТС и в первую очередь – инспекционного контроля качества. Для российской автопромышленности обеспечение качества изготовления АТС является, как известно, наиболее жгучей проблемой. Серьезные резервы связаны с совершенствованием сертификации АТС и в первую очередь – организации инспекционного контроля за качеством сертифицированной продукции. Наиболее актуально для российских условий введение практики случайной выборки образцов для испытаний взамен отбора заранее специально подготовленных, и введение обязательных выборочных испытаний серийной продукции при инспекционном контроле.

Развитие фирменных систем ТО, ремонта и предпродажной подготовки в России многократно отстает от уровня наиболее автомобилизированных стран, не охватывая даже 15% автомобильного парка. Но даже и в этих странах фирменным обслуживанием охвачено не более 50...65% автомобильного парка.

Конструкционные меры по защите от неисправностей, включая обеспечение нечувствительности АТС к отказам компонентов, пока ограничиваются сохранением управляемости АТС при отказах антиблокировочной тормозной системы или гидроусилителя рулевого управления, разделением и защитой от коротких замыканий электрических цепей в системе электроснабжения. Эксплуатируемые АТС крайне слабо защищены от неисправностей, а большая часть разработок в этом направлении не реализована.

### **3. Порядок выполнения работы.**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- производят анализ деятельности изготовителей по обеспечению работоспособного технического состояния АТС в эксплуатации.

#### **4. Отчет**

Практическая работа: «Поддержание и восстановление технического состояния АТС при эксплуатации»

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

### **Практическое занятие № 8**

#### **Проведение полного факторного эксперимента 2<sup>3</sup>**

**1. Цель работы** – изучение основных положений планирования эксперимента.

**Задачи:**

- получить знания по изучению основных этапов при планировании эксперимента;
- составить отчет о проделанной работе.

В ходе практического занятия аспиранты должны разобраться с планированием эксперимента, изучить порядок его проведения.

#### **2. Теория**

##### **2.1. Как планировать эксперимент?**

Под планированием эксперимента понимается процедура выбора числа опытов и условий их поведения, необходимых для решения поставленной задачи с необходимой точностью. Все факторы, определяющие процесс, изменяются одновременно по специальным правилам, а в результате эксперимента представляются в виде математической модели, обладающей нужными статистическими свойствами.

При этом выделяются следующие этапы:

- сбор и анализ априорной информации;
- выбор входных и выходных переменных;
- выбор математической модели;
- выбор критерия оптимальности и плана эксперимента;
- определение метода анализа данных;
- проведение эксперимента;
- обработка результатов;
- интерпретация и рекомендации.

*Выбор входных и выходных переменных.* Входные переменные (назовем их факторами) определяют состояние объекта. Основное к ним требование – управляемость. Под управляемостью понимается установление нужного значения фактора (уровня) и

поддержание его в течении всего опыта. В этом состоит особенность активного эксперимента.

Факторы могут быть количественные и качественные. Уровням количественных факторов соответствует числовая шкала.

Выходные переменные – это реакции (отклики) на воздействие входных переменных.

Отклик обычно обозначают через  $Y$ , а факторы – через  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ .

Выбор модели зависит от наших знаний об объекте, целей исследования и математического аппарата.

Эксперимент, в котором реализуются все сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом (ПФЭ). Для двух уровней это будет ПФЭ типа  $2^2$ , а для  $N$  уровней – ПФЭ типа  $N^R$ .

Пусть в эксперименте изменяются два фактора на двух уровнях:  $\tilde{x}_1$  – температура и  $\tilde{x}_2$  – время реакции. Для температуры основным уровнем является  $50^\circ\text{C}$ , а интервал варьирования составляет  $10^\circ\text{C}$ . Тогда для  $\tilde{x}_1$   $50+10=60^\circ\text{C}$  будет верхним уровнем, а  $50-10=40^\circ\text{C}$  – нижним. В кодированных значениях это запишется так:  $(60 - 50)/10=1$  и  $(40 - 50)/10=-1$ . Если для  $\tilde{x}_2$  выбраны  $\tilde{x}_{20} = 30$  мин и  $I_2 = 5$  мин, то  $(35-30)/5=1$  и  $(25-30)/5=-1$ .

Условия эксперимента представляются в виде таблицы – матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов. Вот пример матрицы планирования для ПФЭ  $2^2$ :

| Номер опыта | $x_1$ | $x_2$ | $y$   |
|-------------|-------|-------|-------|
| 1           | -1    | -1    | $y_1$ |
| 2           | +1    | +1    | $y_2$ |
| 3           | -1    | +1    | $y_3$ |
| 4           | +1    | -1    | $y_4$ |

Геометрическая интерпретация ПФЭ типа  $2^k$ : план  $2^2$  задается координатами вершин квадрата.

### 3. Порядок выполнения работы.

#### 3.1. Порядок действий (рекомендуемый):

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- в рабочих тетрадях вычерчивают матрицу планирования ПФЭ, а также графическую интерпретацию ПФЭ

#### 4. Отчет

Практическая работа «Проведение полного факторного эксперимента  $2^3$ »

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## Практическое занятие №9

### Оценка дисперсий среднего арифметического и проверка однородности дисперсий. Проверка гипотезы об адекватности модели и значимости коэффициентов регрессии

**1. Цель работы** – оценка дисперсий среднего арифметического и проверка однородности дисперсий. Проверка гипотезы об адекватности модели и значимости коэффициентов регрессии.

#### Задачи:

- оценка дисперсий среднего арифметического и проверка гипотезы об адекватности модели;
- составить отчет о проделанной работе.

В ходе практического занятия аспиранты должны изучить порядок оценки дисперсии среднего арифметического.

## 2. Теория

### 2.1. Схема расчетов при ортогональном плане и равномерном дублировании опытов.

Благодаря выбору ортогонального плана и равномерному дублированию опытов (два параллельных опыта в каждом из восьми комбинаций уровней факторов) вычислительная процедура для нашего примера оказывается очень простой и сводится к следующей схеме.

1. Оценка дисперсий среднего арифметического в каждой строке плана эксперимента

$$S_i^{-2} = \frac{\sum_{q=1}^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{n(n-1)},$$

где  $y_{iq}$  – результат определенного опыта,  $\bar{y}_i$  – среднее значение отклика по повторным опытам,  $n$  – количество параллельных опытов,  $q$  – номер параллельного опыта,  $q = 1 \dots n$ ,  $i$  – номер строки матрицы плана,  $i = 1 \dots N$ .

2. Проверка однородности дисперсии с помощью критерия Кохрена  $G$ .

Критерий Кохрена определяется отношением максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий:

$$G = \frac{s_{i \max}^{-2}}{\sum_{i=1}^N s_i^{-2}}.$$

С этим критерием связаны числа степеней свободы  $n - 1$  и  $N$ . Гипотеза об односторонности дисперсий не отвергается, если экспериментальное значение критерия Кохрена не превысит табличного.

3. Если дисперсии однородны, то рассчитываемая оценка усредненной дисперсии воспроизводимости:

$$s_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{N n (n - 1)} = \frac{\sum_{i=1}^N s_i^{-2}}{N}.$$

В реальных условиях гипотеза об однородности дисперсий подтверждается далеко не всегда. Тогда можно идти различными путями. Например, найти преобразование зависимой переменной, отыскать иной закон распределения случайной величины или обратиться к какому-нибудь робастному статистическому методу. Этот этап относится к выбору модели ситуации.

4. Мы уже говорили о том, что благодаря ортогональности плана вычислительная процедура сильно упрощается:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i x_{ji}}{N}, \quad b_{ui} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i x_{ui} x_{ji}}{N},$$

где  $x_{ji}$  – значение  $j$ -го фактора в  $i$ -ом опыте,  $u, i$  – номера факторов,  $j, u=0, 1, \dots, k, j \neq u$ .

5. Проверка гипотезы об адекватности модели основана на расчетах дисперсии адекватности  $s_{ад}^2$  и критерия Фишера (F-критерия)

$$s_{ад}^2 = \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 / f, \quad f = N - p, \quad F = \frac{s_{ад}^2}{s_{\{\bar{y}\}}^2},$$

где  $\hat{y}_i$  – рассчитанное по уравнению регрессии значение отклика,  $f$  – число степеней свободы, связанное с дисперсией адекватности,  $p$  – число оцениваемых коэффициентов регрессии. Рассчитанное значение F-критерия сравнивается с табличным значением, определяемым числами степеней свободы  $f$  и  $N (n - 1)$ . Если экспериментальная величина F-критерия не превышает табличного значения, гипотеза об адекватности модели не отвергается.

6. Проведем проверку значимости коэффициентов регрессии. Поскольку план ортогонален, они определяются с одной и той же дисперсией:  $s_{\{b\}}^2 = \frac{s_{\{\bar{y}\}}^2}{N}$ . Далее для коэффициентов регрессии рассчитывается доверительный интервал  $\Delta b_j = \pm t s_{\{b\}}$  с некоторой доверительной вероятностью. В этом выражении t-критерий (критерий Стьюдента) имеет то же число степеней свободы, что и дисперсия воспроизводимости  $s_{\{\bar{y}\}}^2$ . Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала.
7. Незначимые коэффициента регрессии исключаются и вновь проводится проверка адекватности модели со значимыми коэффициентами.

Статистический анализ завершается интерпретацией модели в терминалах объекта исследования.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый)**

Аспиранты изучают работы ТР выполняемые по потребности. и их специализацию.

### **4. Отчет**

Практическая работа: «Оценка дисперсий среднего арифметического и проверка однородности дисперсий. Проверка гипотезы об адекватности модели и значимости коэффициентов регрессии»

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

## **Практическое задание № 10**

### **Математическое диагностирование**

**1. Цель работы** – привитие практических навыков изучения математического диагностирования.

#### **Задачи:**

- изучение общих положений по математическому диагностированию;
- составить отчет о проделанной работе.

### **2. Теория**

#### **2.1. Общие положения по математическому диагностированию**

Математическое моделирование – процесс построения и изучения математических моделей.

Моделирование – опосредованное теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам объект, а вспомогательная искусственная или естественная система (модель):

1. находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом;
2. способная замещать его в определенных отношениях;
3. дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте.

Математическая модель лишь с каким-то приближением отражает некоторые из важнейших свойств объекта, их закономерности и связи, влияния среды. Модель не описывает полностью изучаемое явление, и вопросы применимости полученных результатов моделирования должны каждый раз исследоваться.

Моделирование следует за экспериментальным исследованием и выполняется посредством манипулирования его результатами. Технические объекты, протекающие в них физические и производственные процессы, информационные потоки и взаимодействия в человеко-машинных системах и организационных системах человек- человек поддаются экспериментальным исследованиям, будь то эксплуатационные наблюдения, измерения или анкетирование. По результатам эксперимента объект представляется определенным массивом числовых или векторных данных (операндом) в сочетании с качественным описанием объекта. Однако представить свойства объекта или характеристики его функционирования за пределами экспериментальных данных непосредственно по полученному массиву данных (операнду) удастся крайне редко. Тем более затруднительно решить эту задачу при ограниченном объеме экспериментальных данных, не полностью характеризующих объект.

*Формальная классификация моделей* по типам основывается на классификации используемых математических средств. Часто строится в форме дихотомий. Например, один из популярных наборов дихотомий:

- линейные или нелинейные модели;
- детерминированные или стохастические;
- статические или динамические;
- сосредоточенные или распределенные системы;
- дискретные или непрерывные;
- четкие или нечеткие;
- с жесткими или «мягкими» ограничениями и так далее.

Этапы построения математических моделей:

1. Содержательное описание моделируемого объекта;
2. Формализация операций;
3. Проверка адекватности модели;
4. Корректировка модели;
5. Оптимизация модели.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- производят изучение математического диагностирования.

### **4. Отчет**

Практическая работа «Математическое диагностирование».

1. Цель работы.

2. Краткие теоретические сведения по теме.

3. Результаты и краткие выводы

## **Практическое задание № 11**

### **Методология экспериментальных исследований**

**1. Цель работы** – изучить методологию экспериментальных исследований.

**Задачи:**

- изучить методологию экспериментальных исследований;
- составить отчет о проделанной работе.

### **2. Теория**

#### **2.1. Изучение методологии экспериментальных исследований**

Особую значимость для технических наук представляют экспериментальные исследования. Они дают материалы и для теоретических построений, и для выработки гипотез исследования технических объектов, и для определения характеристик этих объектов.

Чисто экспериментальных исследований не бывает, во всех случаях анализ, определение целей экспериментального исследования, формулирование гипотезы, построение количественной модели или обоснование гипотетического ожидаемого результата эксперимента выполняются теоретически и предшествуют каждому из экспериментов. Планирование эксперимента, осмысление и объяснение его результатов, выработка предложений по их практическому использованию также относятся к сфере теоретических исследований. Они в том или ином виде и объеме в разных пропорциях неизбежно присутствуют в каждой работе, как «чисто» экспериментальной, так и теоретической, в каждой НИР или диссертации по техническим наукам.

Виды экспериментальных исследований:

1. Обследование;
2. Измерения;
3. Автоматическая регистрация процесса в тестовых или реальных эксплуатационных условиях;
4. Испытания;
5. Наблюдения;
6. Статистические исследования со сбором или (и) обработкой данных внутрипроизводственной и государственной отчетности;
7. Анкетирование (опрос);
8. Мысленный эксперимент;
9. Мониторинг.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- изучают методологию экспериментальных исследований.

#### **4. Отчет**

Практическая работа «Методология экспериментальных исследований».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы.

### **Практическое занятие №12**

#### **Диагностирование бензинового двигателя мотор-тестером и сканером.**

**1. Цель работы:** приобретение практических навыков диагностирования двигателя мотор-тестером и сканером.

##### **Задачи:**

- изучение методов диагностирования двигателя мотор-тестером и сканером;
- проведение диагностирования мотор-тестером и сканером;
- составить отчет о проделанной работе.

#### **2. Теория**

##### **2.1. Измерение компрессии мотор-тестером.**

Функцию измерения давления сжатия (компрессии) реализуют современные компьютерные мотор-тестеры. Для этого в комплекте мотор-тестеров имеются датчики давления, которые вкручивают в отверстия от вывернутых свечей зажигания. Чтобы определить точку начала отсчета (первого цилиндра), используют сигнал от датчика первого цилиндра.

Измерение компрессии мотор-тестером выполняют в следующем порядке:

- на компьютере мотор-тестера активируют программу проверки компрессии в динамическом режиме;
- непрогретый двигатель автомобиля прокручивают в течение 10...15 с с помощью стартера;
- выполняют анализ осциллограммы процесса компрессирования двигателя и делают заключение о техническом состоянии надпоршневых полостей цилиндров.

С помощью программного обеспечения мотор-тестера рассчитывают максимальные значения давления сжатия по каждому цилиндру, а также относительную неравномерность от наибольшего значения. Полученные данные заносятся в таблицу. Анализ таблицы показывает наибольшая неравномерность в работе цилиндров двигателя – разницу между значениями для цилиндров.

Также существует косвенная оценка компрессии. Для этого в комплекте мотор-тестера есть датчик измерения тока – «токовые клещи». Порядок выполнения косвенной оценки следующий:

- на компьютере мотор-тестера активируют программу Relative compression – тест «Относительная компрессия»;
- непрогретый двигатель автомобиля прокручивают в течение 10...15 с с помощью стартера;
- с помощью программы мотор-тестера считывают показания датчика и строят графики изменения тока в каждом цилиндре двигателя на такте сжатия;
- выполняют анализ осциллограммы процесса компрессирования двигателя и делают заключение о техническом состоянии надпоршневых полостей цилиндров.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- проводят диагностирование двигателя с помощью мотор-тестера и сканера;
- составляют отчет о проделанной работе.

#### **4. Отчет**

Практическая работа «Диагностирование бензинового двигателя мотор-тестером и сканером».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы

## **Практическое занятие №13**

### **Диагностирование дизеля с помощью стробоскопа и дымомера.**

- 1. Цель работы:** приобретение практических навыков диагностирования дизеля с помощью стробоскопа и дымомера.

#### **Задачи:**

- изучение методов диагностирования двигателя стробоскопом и дымомером;
- проведение диагностирования стробоскопом и дымомером;
- составить отчет о проделанной работе.

#### **2. Теория**

## 2.1. Диагностирование дизеля с помощью стробоскопа и дымомера.

Дизельный стробоскоп отличается от бензинового только конструкцией датчика. Для дизеля применяются пьезокристаллические датчики давления. Углом опережения впрыска топлива (УОВТ) называется угол поворота коленчатого вала двигателя от момента подачи топлива в цилиндр до момента прихода поршня этого цилиндра в верхнюю мертвую точку. На рис. 1 УОВТ представлен в виде муфты опережения впрыска топлива / с меткой 2, показанной в тот момент, когда форсунка первого цилиндра 4 начинает подавать топливо в двигатель. Здесь же показана и метка 3 на корпусе топливного насоса высокого давления. При совмещении метки 2 на шкиве 1 с меткой 3 поршень первого цилиндра приходит в верхнюю мертвую точку (ВМТ). Тогда угол поворота Дер коленчатого вала двигателя от момента начала подачи топлива в его первый цилиндр до момента совмещения меток 2 (на шкиве) и 3 (на блоке) и будет углом опережения впрыска топлива — УОВТ. Следовательно, для измерения УОВТ необходимо регистрировать два события: момент подачи топлива в первый цилиндр двигателя и момент совмещения метки 2 на шкиве с меткой 3 на корпусе ТНВД. Измерение УОВТ производят с помощью стробоскопа — электронного прибора с импульсной лампой-вспышкой, который позволяет наблюдать вращающиеся (движущиеся) детали в неподвижном состоянии в свете вспышек лампы.

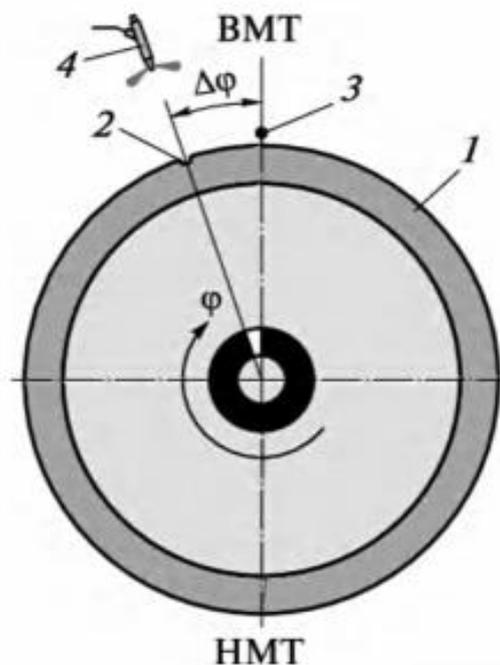


Рис.1. Метки на муфте опережения впрыска топлива ТНВД дизеля

Для подключения стробоскопа к трубопроводу высокого давления дизеля используется накладной пьезокристаллический датчик. Пьезокристаллический датчик устанавливаю т на трубопровод высокого давления первого цилиндра дизеля так, чтобы

трубка находилась между подвижной 3 и неподвижной 5 накладками зажима датчика. Резьбовым зажимом фиксируют датчик на трубопроводе высокого давления у форсунки первого цилиндра и подсоединяют его выводы 7 к входу стробоскопа. Затем запускают дизель в режиме малых оборотов холостого хода. Дизельный стробоскоп подключается к автомобильной бортовой сети. Преобразователь напряжения ПН стробоскопа преобразует напряжение бортовой сети  $\pm 24$  В в высокое напряжение  $+400$  В — для питания лампы-вспышки, и низкое  $+5$  В — для питания электронных компонентов схемы.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- проводят диагностирование дизеля стробоскопом дымомером;
- составляют отчет о проделанной работе.

#### **4. Отчет**

Практическая работа «Диагностирование дизеля стробоскопом дымомером».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы

## **Практическое занятие №14**

### **Диагностирование систем зажигания и пуска.**

- 1. Цель работы:** приобретение практических навыков диагностирования систем зажигания и пуска.

#### **Задачи:**

- изучение методов диагностирования систем зажигания и пуска;
- проведение диагностирования систем зажигания и пуска;
- составить отчет о проделанной работе.

#### **2. Теория**

##### **2.1. Диагностирование систем зажигания и пуска.**

Диагностирование системы пуска на автомобиле осуществляется методом последовательного исключения элементов в цепи питания электропровода стартера. Метод применяется в случаях, когда включение стартера поворотом ключа зажигания не происходит. На первом этапе проверяют контакты замка зажигания (ЗЗ) на предмет их качества замыкания, окисления или обрыва. На втором этапе выполняют проверку технического состояния реле Р1 включения стартера. На следующем этапе проводится

поверка технического состояния электродвигателя стартера. В случае, если неисправность не найдена, необходимо снять стартер и выполнить проверку его технического состояния либо на специальном стенде, либо с применением методов дифференциальной диагностики (с проверкой технического состояния его элементов).

Еще одной важной проверкой является измерение тока, потребляемого стартером в режиме пуска двигателя. Она необходима, когда быстро разряжается аккумуляторная батарея. Проверку проводят на прогретом двигателе с применением автотестера и токовых клещей.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- проводят диагностирование системы зажигания и пуска;
- составляют отчет о проделанной работе.

### **4. Отчет**

Практическая работа «Диагностирование систем зажигания и пуска».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы

## **Практическое занятие №15**

### **Диагностирование рулевого управления.**

2. **Цель работы:** приобретение практических навыков диагностирования рулевого управления.

#### **Задачи:**

- изучение методов диагностирования рулевого управления;
- проведение диагностирования рулевого управления;
- составить отчет о проделанной работе.

### **2. Теория**

#### **2.1. Диагностирование рулевого управления.**

**Люфт-детекторы** предназначены для выявления зазоров в шаровых наконечниках, шарнирах и механизмах рулевого управления, в подвижных узлах подвески автомобиля, деталях и узлах ходовой части, а также для оценки степени их износа. Диагностирование производится на нагруженном автомобиле, что дает наиболее объективные показатели.

В процессе диагностики управляемые колеса автомобиля устанавливаются на площадки люфт-детектора. Это позволяет имитировать все возможные нагрузки, передающиеся на рулевое управление и подвеску автомобиля в процессе его движения.

Люфт-детектор может устанавливаться как на подъемнике, так и на смотровой канаве. Он имеет систему синхронизации движения площадок, что обеспечивает равную передачу нагрузки как на левое, так и на правое колесо.

Люфт-детектор создает нагрузку на колеса автомобиля гидравлическим или пневматическим приводом и имеет дистанционное управление.

Типовая функциональная схема люфт-детектора представлена на рис. 8.12. Его основу составляют подвижные платформы *13* и *18*, которые могут перемещаться только вдоль оси от  $+X$  до  $-X$ . В верхней части подвижных платформ смонтированы по две подвижные полуплатформы *14, 15* и *16, 17*, которые могут перемещаться независимо друг от друга только вдоль оси от  $+Y$  до  $-Y$ . Платформы и полуплатформы перемещаются от гидроцилиндров двойного действия (*12, 19, 20, 21* и *10, 11*).

Для работы гидроцилиндров в конструкции люфт-детектора предусмотрена гидростанция, включающая в себя бак с гидрожидкостью *1*, гидронасос *2*, манометр *3* и предохранительный клапан *4*.

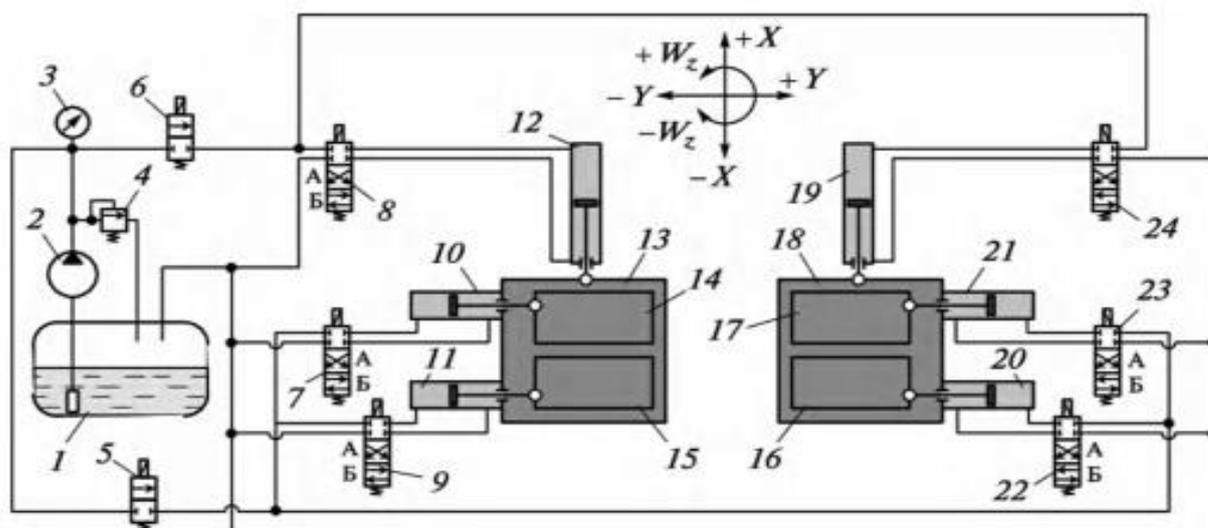


Рис. 8.12. Функциональная схема люфт-детектора с гидравлическим приводом

Подача гидрожидкости осуществляется от восьми электромагнитных клапанов. Электромагнитный клапан 6 подает гидрожидкость для управления платформами 13 и 18, а электромагнитный клапан 5 — для управления полуплатформами 14, 15 и 16, 17.

Чтобы управлять перемещением платформ, используют электромагнитные клапаны 8 и 24, которые переключают подачу гидрожидкости в двусторонние гидроцилиндры 12 и 19.

Для управления перемещением полуплатформ используют электромагнитные клапаны 7, 9, 22 и 23, которые переключают подачу гидрожидкости в двусторонние гидроцилиндры 10, 11 и 20, 21.

Для синхронного продольного движения платформ включают клапан 6, а на электромагнитные клапаны 8 и 24 подают импульсы напряжения, которые переводят их то в положение А, то в положение Б (см. рис. 8.12). При этом гидроцилиндры 12 и 19 синхронно перемещают платформы 13 и 18 с установленными на них и заторможенными колесами вдоль оси от  $+X$  до  $-X$ . Такой режим позволяет выявлять люфты в подвеске автомобиля и рулевых тягах.

Чтобы обеспечить движение платформ 13 и 18 в противоположных направлениях, необходимо, чтобы на клапаны 8 и 24 подавались импульсы напряжения в противофазе. В этом случае, когда клапан 8 находится в положении А, клапан 24 будет находиться в положении Б, и наоборот. При этом на заторможенные колеса автомобиля действуют разнонаправленные продольные силы. Такой режим работы люфт-детектора позволяет определять люфты в продольных тягах рулевого управления и рычагах подвески.

Для обеспечения попарного движения полуплатформ 14 и 15, а также 16 и 17 вдоль оси от  $+Y$  до  $-Y$  в противоположных направлениях необходимо, чтобы попарно на клапаны 7 и 9, а также 22 и 23

подавались одинаковые импульсы напряжения. При этом плоскости вращения колес перемещаются, то приближаясь, то удаляясь друг от друга, что позволяет выявлять люфты в шарнирах подвески.

Чтобы при помощи люфт-детектора синхронно поворачивать управляемые колеса в одинаковые стороны, необходимо попарно на клапаны 7 и 22, а также 9 и 23 подавать импульсы напряжения в противофазе. При этом полуплатформы 14 и 15 будут двигаться разнонаправленно, обеспечивая поворот левого колеса вокруг шкворня в направлении от  $+W_z$  до  $-W_z$ . Синхронно с левым поворачивается и правое колесо, поскольку полуплатформы 16 и 17 тоже двигаются от гидроцилиндров 20 и 21, поворачивая колесо в ту же сторону. Такой режим работы люфт-детектора позволяет эффективно определять люфты в рулевом механизме.

Для поворота с помощью люфт-детектора управляемых колес в разные стороны необходимо попарно на клапаны 7 и 23, а также 9 и 22 подавать импульсы напряжения в противофазе. При этом полуплатформы 14 и 15 также двигаются разнонаправленно, обеспечивая поворот левого колеса вокруг шкворня в направлении от  $+W_z$  до  $-W_z$ . Но правое колесо будет поворачиваться в противоположную сторону, поскольку полуплатформы 16 и 17 двигаются от гидроцилиндров 20 и 21 в противофазе.

При противоположном движении полуплатформ, когда колеса поворачиваются вокруг осей шкворней в разные стороны, эффективно выявляются люфты шарниров рулевого управления и люфт в рулевом механизме.

### **3. Порядок выполнения работы**

#### **3.1. Порядок действий (рекомендуемый):**

- аспиранты изучают теорию вопроса;
- проводят диагностирование рулевого управления;
- составляют отчет о проделанной работе.

### **4. Отчет**

Практическая работа «Диагностирование рулевого управления».

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения по теме.
3. Результаты и краткие выводы