

Н.С. Соломатин



# ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ, АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

Н.С. Соломатин

## **ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ, АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ**

Учебное пособие

Рекомендовано Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени Н.Э. Баумана» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 «Наземные транспортно-технологические средства»

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2013

УДК 629.3.018 (075.8)

ББК 39.33

С605

Рецензенты:

заслуженный машиностроитель СССР, д-р техн. наук,  
профессор Ижевского государственного технического  
университета *В.А. Умняшкин*;

канд. техн. наук, начальник отдела доводки трансмиссии УПД СГК  
СВПТР ОАО «АВТОВАЗ» *В.П. Петунин*.

**С605** Соломатин, Н.С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля: учеб. пособие / Н.С. Соломатин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 143 с. : пер.

В учебном пособии изложены методы испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля. Рассмотрены схемы испытательных стендов.

Предназначено для студентов специальностей 190201 «Автомобиле- и тракторостроение», 190109 «Наземные транспортно-технологические средства», направления 190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы». Пособие может быть полезно инженерно-техническим работникам предприятий автомобильной отрасли.

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение».

УДК 629.3.018 (075.8)

ББК 39.33

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

ISBN 978-5-8259-0732-1 © ФГБОУ ВПО «Тольяттинский  
государственный университет», 2013

---

## ВВЕДЕНИЕ

---

В настоящем учебном пособии рассмотрены наиболее характерные виды испытаний узлов, агрегатов и систем автомобиля.

Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля возможны:

- в составе полнокомплектного автомобиля на дороге или на стенде с беговыми барабанами;
- отдельных деталей или узлов на стендах.

Дорожные испытания проводят:

- на дорогах общего пользования;
- на дорогах, спецучастках, сооружениях автополигонов.

К примеру, испытания на статическую прочность и циклическую долговечность проводят на стендах.

При испытании на статическую прочность изделие подвергается нагружению с усилием, оговоренном в конструкторской документации на него или в программе испытаний. Достаточно часто в программах проведения испытаний указывается, что усилие может превышать нормированное, вплоть до разрушения изделия. При проведении испытаний на циклическую долговечность изделие считается прошедшим испытание, если выдержало без поломок весь цикл испытаний и, возможно, еще ряд каких-либо условий, оговоренных методикой или программой испытаний. В ряде случаев возможна замена вышедших из строя деталей, узлов, прямо не относящихся к испытываемому изделию. Так, при испытании синхронизаторов коробки передач на циклическую долговечность возможны поломки привода переключения передач, подшипников, валов коробки и т. д. Возможность выполнения подобного вида работ оговаривается методикой или программой испытаний.

В дорожных условиях производятся испытания автомобиля – его узлов, агрегатов и систем, а также режимометрирование – измере-



ние и регистрация процессов в деталях, узлах, агрегатах и системах автомобиля. Подготовка и проведение режимометрирования процесс весьма трудоёмкий. Для измерения и регистрации физических величин, характеризующих процессы в деталях, узлах, агрегатах и системах подлежащих режимометрированию, – детали, узлы, агрегаты и системы оснащаются соответствующими датчиками. Сигналы с датчиков по проводам или радиоканалам через согласующую измерительную аппаратуру передаются на записывающее устройство. В качестве записывающего устройства при дорожных испытаниях в основном применяется персональный компьютер в антивибрационном исполнении.

Перед проведением режимометрирования автомобиля производится его обкатка. Каждый день перед выходом на маршрут и включением записи процессов автомобиль проходит прогревочный пробег.

Этапы режимометрирования подробно расписываются в программе испытаний. На каждом этапе задается сочетание параметров:

- скорость движения;
- весовое состояние;
- тип опорной поверхности дороги;
- рельеф местности;
- температура окружающего воздуха и другие.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов для стендовых и виртуальных испытаний деталей, узлов, агрегатов и систем автомобиля.

На обложке учебного пособия представлен стенд с беговой дорожкой для испытания шин французской фирмы ViA.

---

## 1. ИСПЫТАНИЯ ТРАНСМИССИИ

---

Стенды для испытания трансмиссии классифицируются:

- с разомкнутым потоком мощности;
- с замкнутым потоком мощности;
- с нагружением от маховых масс;
- с инерционным нагружением;
- для определения характеристик.

На стендах определяют рабочие характеристики узлов: демпфера крутильных колебаний, нажимной пружины в сборе, тросового привода и т. д. В дорожных условиях и на стендах проводят испытания на надежность, исследование рабочих процессов деталей, узлов и агрегатов трансмиссии. В дорожных условиях проводят оценку рабочих процессов узлов и агрегатов трансмиссии, режимометрирование.

### 1.1. Общие виды испытаний

#### *Испытания трансмиссии на стенде с разомкнутым потоком мощности*

Стенд с разомкнутым потоком мощности применяют для экспериментальных исследований рабочих процессов трансмиссии, ее динамики и виброакустики. Схема стенда представлена на рис. 1.1.

Стенд включает двигатель 1 (рис. 1.1) трансмиссию (2, 3, 4, 5), ведущие 6 и ведомые 8 шкивы, клиновые ремни 7, тормозные механизмы 9, маховую массу 10. Двигатель, сцепление, коробка передач, приводные валы могут быть штатными с автомобиля или экспериментальными. Ведущие шкивы и часть клиновых ремней имитируют момент инерции ведущих колес. Сечение, длину и количество клиновых ремней подбирают так, чтобы имитировать тангенциальную жесткость шины, а усилие натяжения клиновых ремней подбирают

так, чтобы обеспечить возможность проскальзывания по шкивам при пиковых нагрузках (имитация буксования ведущих колес).

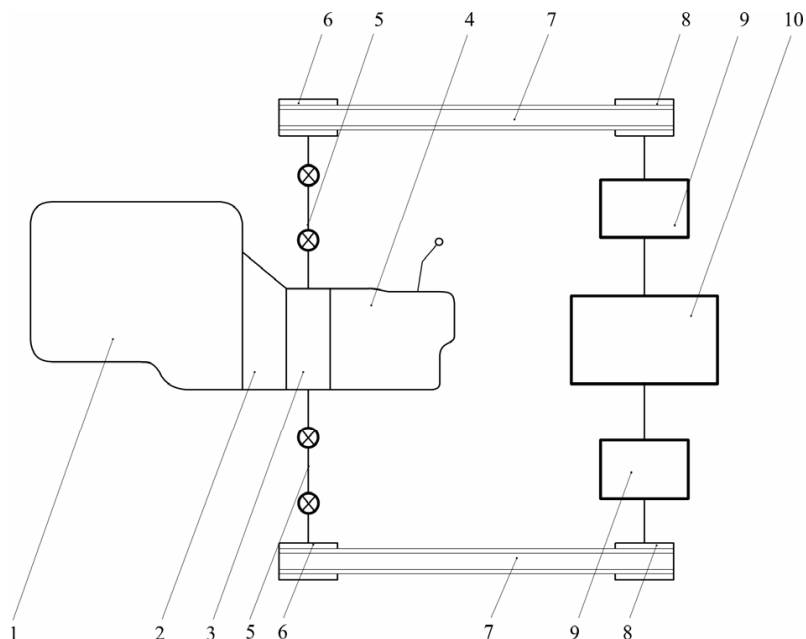


Рис. 1.1. Стенд с разомкнутым потоком мощности (трансмиссия переднеприводного автомобиля с продольным расположением двигателя): 1 – двигатель автомобиля с системой управления подачей топлива; 2 – сцепление с приводом; 3 – главная передача с дифференциалом; 4 – коробка передач с механизмом переключения передач; 5 – приводные валы; 6 – ведущие шкивы; 7 – клиновые ремни; 8 – ведомые шкивы; 9 – тормозные механизмы; 10 – маховая масса, имитирующая массу поступательно движущегося автомобиля

Маховая масса, с моментами инерции ведомых шкивов и части клиновых ремней, вращающихся частей тормозных механизмов, имитирует массу поступательно движущегося автомобиля. Тормозные механизмы имитируют сопротивление движению автомобиля – сопротивление качению колес, аэродинамическое сопротивление, сопротивление движению автомобиля на подъеме.

На рис. 1.2 представлена схема стенда с разомкнутым потоком мощности для испытания трансмиссии автомобиля классической компоновки.

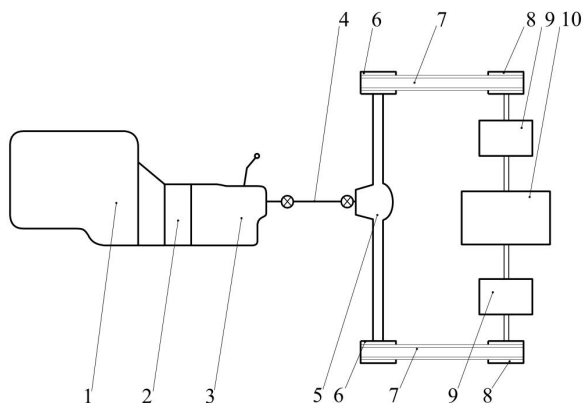


Рис. 1.2. Схема стенда с разомкнутым потоком мощности (трансмиссия автомобиля классической компоновки): 1 – двигатель автомобиля с системой управления подачей топлива; 2 – сцепление с приводом; 3 – коробка передач с механизмом переключения передач; 4 – карданный вал; 5 – ведущий мост; 6 – ведущие шкивы; 7 – клиновые ремни; 8 – ведомые шкивы; 9 – тормозные механизмы; 10 – маховая масса, имитирующая массу поступательно движущегося автомобиля

Стенд с разомкнутым потоком мощности позволяет с высокой степенью повторяемости имитировать любые режимы работы трансмиссии: трогание автомобиля, разгон с переключением передач, равномерное движение, торможение двигателем, движение задним ходом и другие. На стенде гораздо легче, чем на автомобиле устанавливать экспериментальные или модифицированные узлы и агрегаты, обеспечивать снятие и регистрацию параметров их рабочих процессов.

В зависимости от задач испытаний узлы и агрегаты стенда оснащаются датчиками. К примеру, на рис. 1.3 представлен вариант оснащения стенда с разомкнутым потоком мощности датчиками при исследовании влияния параметров демпфера сцепления на крутильные колебания валов коробки передач и её виброактивность на режиме холостого хода.

На рис. 1.3 обозначено: 1 – датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; 2 – датчик положения органа регулирующего подачу топлива в двигатель внутреннего сгорания; 3 – датчик деформации упругого элемента демпфера крутильных колебаний; 4 – датчик крутящего момента на первичном валу коробки передач; 5 – датчик температуры масла в коробке передач; 6 и 7 – датчики кон-

такта зубьев ведущих и ведомых шестерён; 8 — датчик виброускорений на верхней панели картера коробки передач.

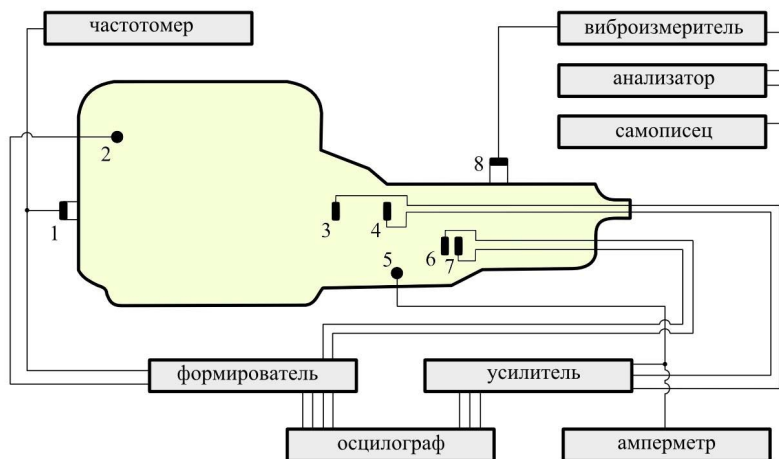


Рис. 1.3. Оснащение датчиками стенда с разомкнутым потоком мощности при исследовании влияния параметров демпфера сцепления на крутильные колебания валов коробки передач и её виброактивность на режиме холостого хода

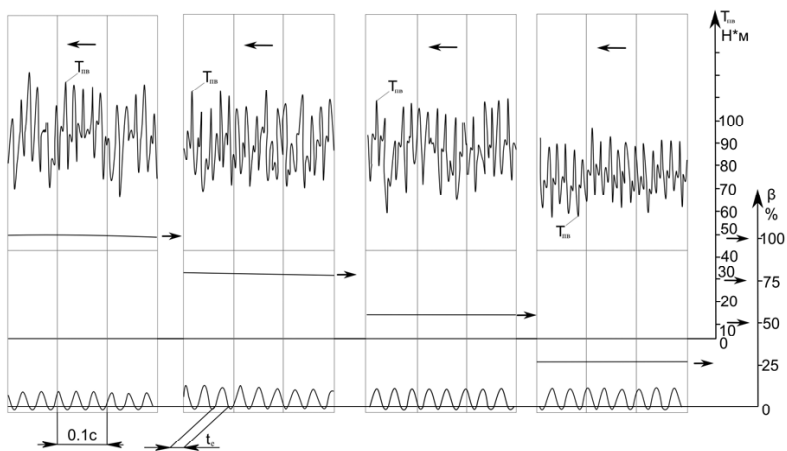


Рис. 1.4. Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач при движении с различным положением органа регулирующего подачу топлива в двигатель внутреннего сгорания

Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач  $T_{пв}$  при движении с различным положением органа регулирующего подачу топлива в двигатель внутреннего сгорания  $\beta$  представлен на рис. 1.4.

Определённая по результатам испытания на стенде, зависимость влияния момента трения демпфера сцепления на крутильные колебания на первичном валу коробки передач  $T_{пв}$  при движении с различным положением органа регулирующего подачу топлива в двигатель внутреннего сгорания  $\beta$ , представлена на рис. 1.5.

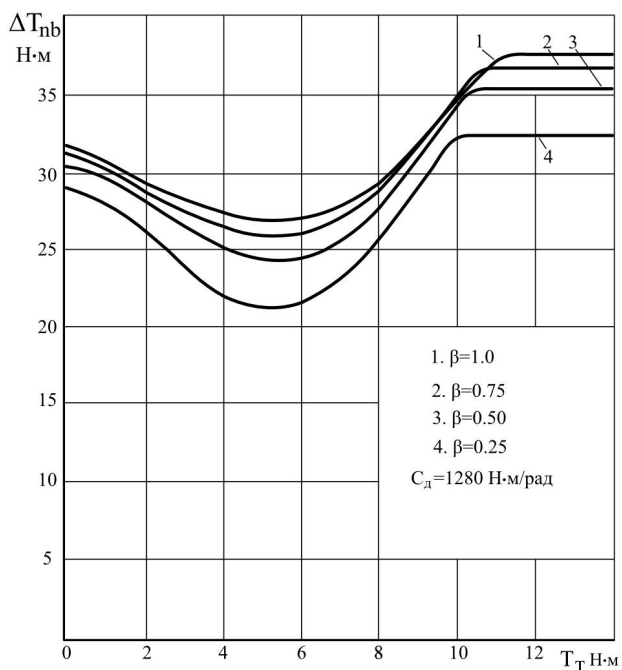


Рис. 1.5. Зависимость влияния момента трения демпфера крутильных колебаний на крутильные колебания на первичном валу коробки передач

Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач  $T_{пв}$  при броске сцепления представлен на рис. 1.6.

Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач и полуоси при резком переходе на режим торможения двигателем приведен на рис. 1.7.

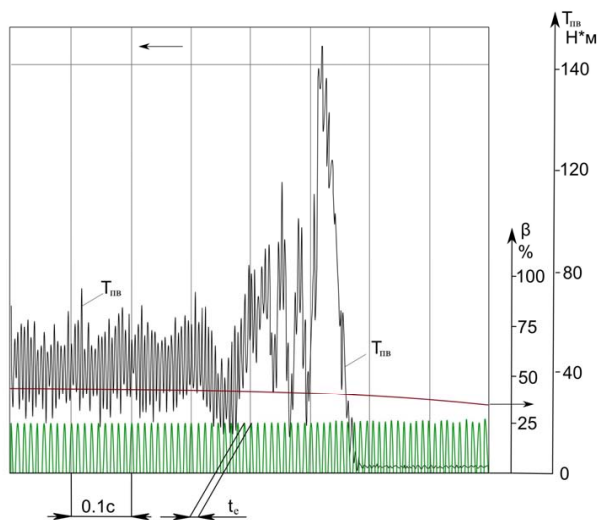


Рис. 1.6. Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач  $T_{пв}$  при броске сцепления

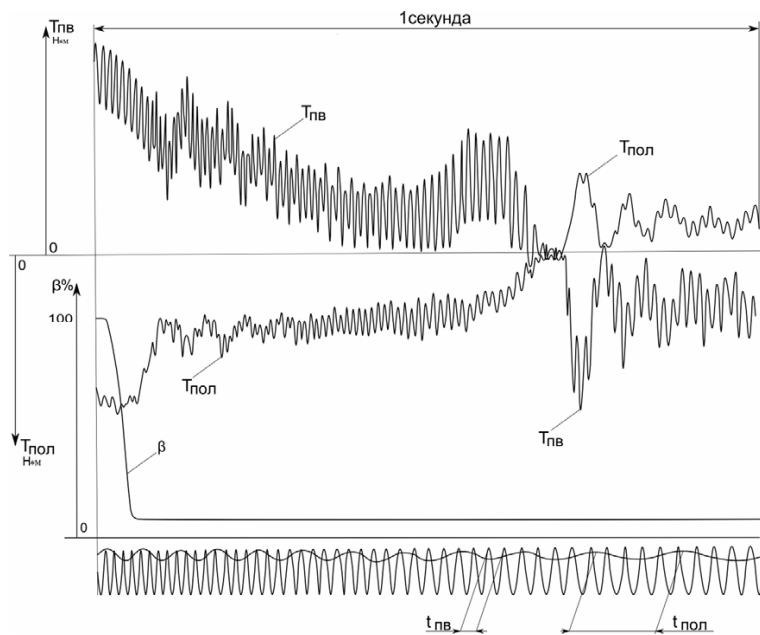


Рис. 1.7. Пример записи крутящего момента на первичном валу коробки передач и полуоси при резком переходе на режим торможения двигателем

Зависимость влияния частоты вращения первичного вала коробки передач и температуры масла в ней на виброактивность верхней панели картера коробки передач на режиме холостого хода представлена на рис. 1.8.

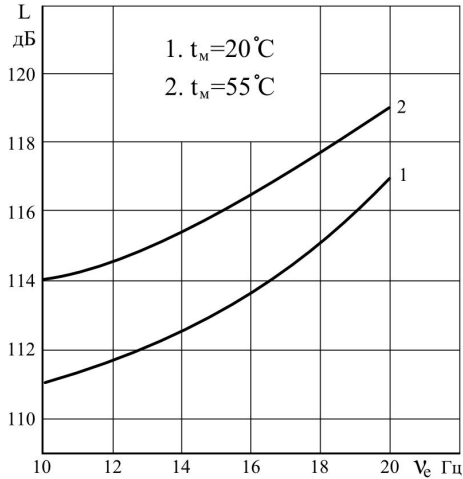


Рис. 1.8. Зависимость влияния частоты вращения первичного вала коробки передач и температуры масла в ней на виброактивность верхней панели картера коробки передач на режиме холостого хода

Выше представлен далеко не полный перечень примеров исследования процессов в трансмиссии автомобиля на стенде с разомкнутым потоком мощности.

#### ***Определение момента инерции вращающихся элементов трансмиссии***

Моменты инерции вращающихся элементов трансмиссии определяют на стендах с моно- или трифилярными подвесами. Принципиальная схема стенда с монофилярным подвесом представлена на рис. 1.9.

Пружинная проволока жестко закреплена в раме стенда и в колеблющемся диске. Если неизвестен момент инерции диска 1 (рис. 1.9), его определяют

$$J = m \cdot R^2,$$

где  $m$  – масса диска, кг;  $R$  – радиус диска, м.



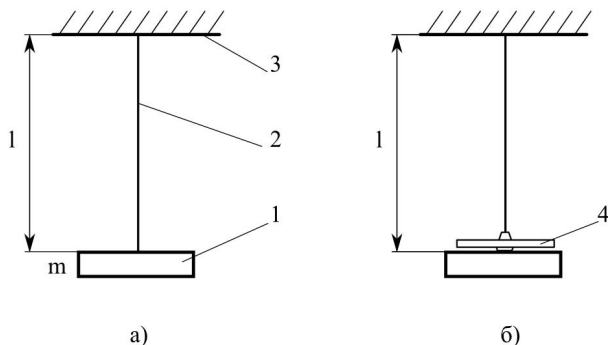


Рис. 1.9. Принципиальная схема стенда с монофилярным подвесом для определения момента инерции вращающихся элементов трансмиссии:

1 – колеблющийся диск с известным моментом инерции; 2 – нить из пружинной проволоки; 3 – рама стенда; 4 – испытуемый объект

Массу диска можно определить

$$m = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \gamma,$$

где  $h$  – высота диска, м;  $\gamma$  – плотность материала диска, кг/м<sup>3</sup>.

Во-первых, определяют период крутильных колебаний диска. Для этого поворачивают диск на 10...12°, отпускают и определяют время  $t_{50}$ , за которое диск совершит 50 крутильных колебаний. Опыт повторяют трижды. Период крутильных колебаний диска:

$$T = t_{50} / 50,$$

где  $t_{50}$  – время, за которое диск совершит 50 полных крутильных колебаний.

Опыт необходимо провести три раза и определить среднее значение периода крутильных колебаний диска на нити. Отметив положение диска на нити, диск снимают, на него соосно кладут испытуемый объект, момент инерции которого необходимо определить.

Диск с испытуемым объектом закрепляют на нити, строго выдержав исходную длину нити  $L$ .

Диск 1 с объектом поворачивают на 10...12 градусов и определяют время, за которое диск с объектом совершит 50 полных крутильных колебаний. Опыт повторяют трижды. Рассчитывают период колебаний  $T_1$  диска с испытуемым объектом.

Рассчитывают момент инерции объекта 4.

Момент инерции испытуемого объекта определяется:

$$J_1 = J \cdot \left( \frac{T_1^2}{T^2} - 1 \right),$$

где  $J$  – момент инерции диска, кг·м<sup>2</sup>;  $T$  – период крутильных колебаний диска, с;  $T_1$  – период крутильных колебаний диска с испытуемым объектом, с.

Желательно иметь несколько дисков  $I$  с разными моментами инерции, так чтобы масса диска и испытуемого объекта были близки. Для определения момента инерции массивных деталей, к примеру, маховика двигателя, потребуется пружинная проволока большего диаметра.

## 1.2. Испытания сцепления

### *Испытание сцепления на износостойкость*

Испытания сцепления, проводимые на стендах с нагружением от маховых масс, позволяют оценить износостойкость фрикционных пар, контртел - маховика и нажимного диска, привода сцепления, долговечность привода сцепления, ведомого диска, корзины в сборе; определить коэффициент трения пар трения, его зависимость от скорости скольжения и т. д.

Схема стенда для испытания на износостойкость представлена на рис. 1.10.

Стенд оснащен датчиками частоты вращения, силы, перемещения и крутящего момента. При необходимости возможно дооснащение другими датчиками. К примеру, для оценки тепловой нагруженности контртел в маховик и нажимной диск устанавливаются датчики температуры.

Момент инерции маховой массы, имитирующей массу поступательно движущегося автомобиля, приведенную к первичному валу коробки передач определяют:

$$J_m \frac{m_a \cdot r_k^2}{U_{гп}^2 \cdot U_{кп}^2},$$

где  $m_a$  – масса автомобиля;  $r_k$  – кинематический радиус качения ведущего колеса;  $U_{гп}$  – передаточное отношение главной передачи;  $U_{кп}$  – передаточное отношение коробки передач.

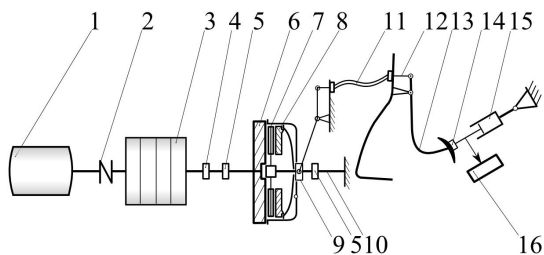


Рис. 1.10. Схема стенда для испытания сцепления на износостойкость:  
 1 – тяговый электродвигатель; 2 – обгонная муфта; 3 – маховая масса, имитирующая массу поступательно движущегося автомобиля приведенную к первичному валу коробки передач; 4 – датчик частоты вращения; 5 – датчик крутящего момента; 6 – маховик двигателя; 7 – ведомый диск; 8 – нажимной диск с корзиной в сборе; 9 – выжимной подшипник; 10 – имитатор первичного вала коробки передач; 11 – оболочка троса привода сцепления; 12 – трос привода сцепления; 13 – педаль сцепления; 14 – датчик силы; 15 – устройство для нажатия на педаль сцепления; 16 – датчик перемещения

### 1.2.1. Испытания ведомого диска сцепления

#### *Определение упруго-диссипативной характеристики демпфера крутильных колебаний*

Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики демпфера крутильных колебаний представлена на рис. 1.11.

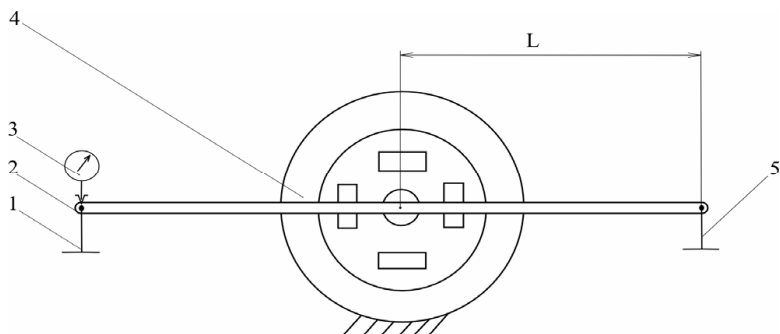


Рис. 1.11. Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики демпфера крутильных колебаний:  
 1 – левый подвес; 2 – двуплечий рычаг; 3 – датчик перемещения; 4 – испытуемый ведомый диск; 5 – правый подвес

Испытуемый ведомый диск 4 (рис. 1.11) фиксируется на стенде за фрикционные накладки (прижимается) от проворачивания под действием приложенного крутящего момента. Шлицевой вал двуплечего рычага 2 устанавливается в шлицевой ступице ведомого диска. Перед проведением испытаний необходимо 20...25 раз нагрузить двуплечий рычаг до упора в ту и другую стороны.

На один из подвесов, к примеру, подвес 1 поочередно укладываются грузики массой  $m$  и фиксируется вертикальное перемещение рычага 2 в точке крепления подвеса датчиком 3. Грузики укладываются до тех пор, пока поворачивается рычаг 2, то есть пока сжимается упругий элемент демпфера, после чего грузики поочередно снимаются до последнего. Затем эти действия повторяются на другом подвесе 5. Поочередное нагружение левого и правого подвесов повторяется минимум трижды. Момент, прикладываемый к демпферу и угол сжатия упругого элемента демпфера при этом, определяется (первое нагружение первого подвеса не учитывается):

$$T_i = L \cdot \sum_{i=1}^n m, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $n$  – число грузиков на подвесе.

$$\varphi \approx \frac{Z_i}{L} \text{ (рад)},$$

здесь  $Z_i$  – вертикальное перемещение рычага 2 в точке крепления подвеса (м).

Строится экспериментально определенная упруго-диссипативная характеристика демпфера крутильных колебаний (рис. 1.12).

Построив скелетную (среднюю) линию характеристики определяем жесткость демпфера на участках и момент трения  $T_f$ .

Жесткость на участке определяется как тангенс угла наклона соответствующей средней линии к оси абсцисс

$$C_1 = \text{tg } \varphi_1, \text{ Н}\cdot\text{м/рад};$$

$$C_2 = \text{tg } \varphi_2, \text{ Н}\cdot\text{м/рад}.$$

Экспериментально определенная упруго-диссипативная характеристика демпфера сравнивается с заданной в конструкторской документации.

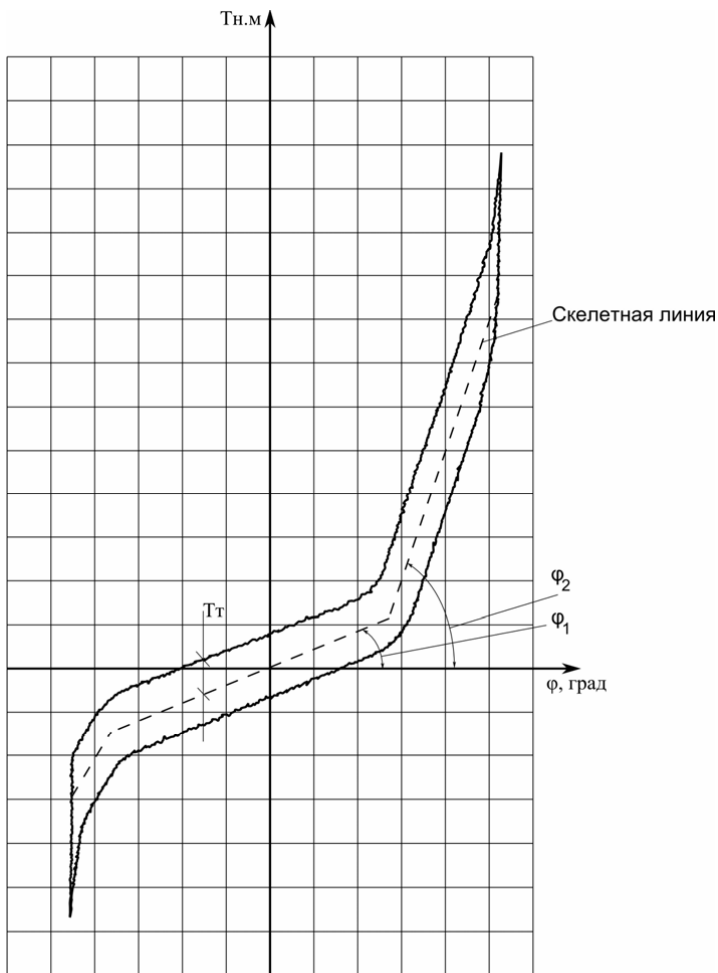


Рис. 1.12. Экспериментально определенная упруго-диссипативная характеристика демпфера крутильных колебаний

***Испытание демпфера крутильных колебаний на долговечность***

Испытание проводят на стенде, имитирующем реальное нагружение демпфера. Это, как правило, стенды с несимметричным гидравлическим приводом. В упрощенном виде могут задаваться симметричные циклические нагрузки с переменным знаком крутящего момента на стендах с кривошипно-шатунным или симметричным гидравлическим приводом.

Принципиальная схема стенда для испытания демпфера крутильных колебаний на долговечность представлена на рис. 1.13.

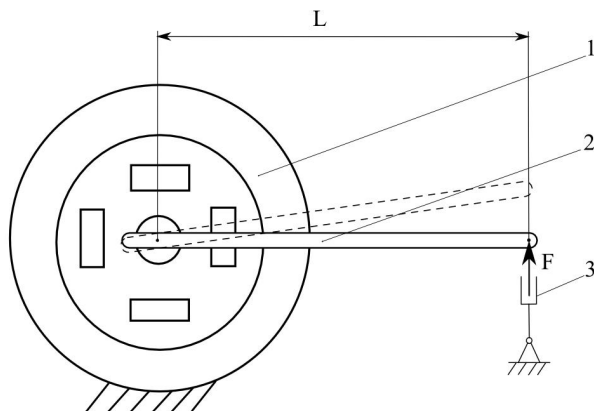


Рис. 1.13. Принципиальная схема стенда для испытания демпфера крутильных колебаний на долговечность: 1 – испытуемый ведомый диск; 2 – рычаг со шлицевым валом; 3 – нагружающее устройство

Испытуемый ведомый диск 1 (рис. 1.13) фиксируется на стенде за фрикционные накладки от проворачивания под действием приложенного крутящего момента. Шлицевой вал рычага 2 устанавливается в шлицевой ступице ведомого диска. Под действием силы  $F$  передаваемой с нагружающего устройства 3 на рычаг 2 к демпферу крутильных колебаний прикладывается крутящий момент

$$T = F \cdot L,$$

где  $L$  – длина рычага 2.

Нагрузочные режимы задаются с учетом статистического распределения эффективного крутящего момента на первичном валу коробки передач (рис. 1.14), числа циклов нагружения демпфера крутильных колебаний соответствующим моментом.

На рис. 1.14 левая часть оси абсцисс – режим торможения двигателем, правая – тяговый режим.

Нагрузочные режимы испытания ведомого диска формируются по результатам режимометрирования трансмиссии в дорожных условиях.

Общее число циклов нагружения демпфера крутильных колебаний можно определить из ресурсного пробега автомобиля, тактнос-

ти двигателя и некоторых статистических данных для этого класса автомобилей.

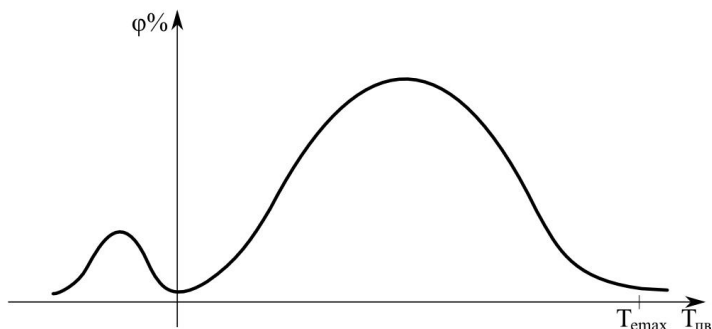


Рис. 1.14. Пример статистического распределения крутящего момента на первичном валу коробки передач легкового автомобиля

К примеру, зададим для легкового автомобиля малого класса:

- ресурсный пробег  $L_p = 120000$  км;
- двигатель четырехцилиндровый, четырехтактный;
- средняя скорость движения  $V_{cp} = 60$  км/час;
- число оборотов двигателя при движении со средней скоростью  $V_{cp} = 60$  км/час на высшей, но не экономической передаче  $n_{дв} = 2000$  об/мин.

Общее время движения автомобиля

$$t_{дв} = L_p / V_{cp} = 120000 / 60 = 2000, \text{ час.}$$

В минутах это будет 120000 мин.

Временем работы двигателя на холостом ходу и на других передачах здесь пренебрегаем.

Коленчатый вал двигателя за это время совершит число оборотов:

$$N_{об} = n_{дв} \cdot t_{дв} = 2000 \cdot 120000 = 240000000 \text{ об.}$$

Поскольку у четырехтактного четырехцилиндрового двигателя происходит рабочий такт в двух цилиндрах за один оборот коленвала, пружины демфера будут дважды сжиматься за один оборот.

Итого, примерное число циклов нагружения демфера крутильных колебаний для четырехтактного четырехцилиндрового двигателя за ресурсный пробег  $N_{циклов} = N_{об} \cdot 2 = 480000000$  циклов, то есть, около полумиллиарда.

### *Определение осевой жесткости ведомого диска*

Определяют упруго-диссипативную характеристику ведомого диска в осевом направлении, по которой оценивают упругую характеристику и потери на трение.

Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики ведомого диска в осевом направлении представлена на рис. 1.15.

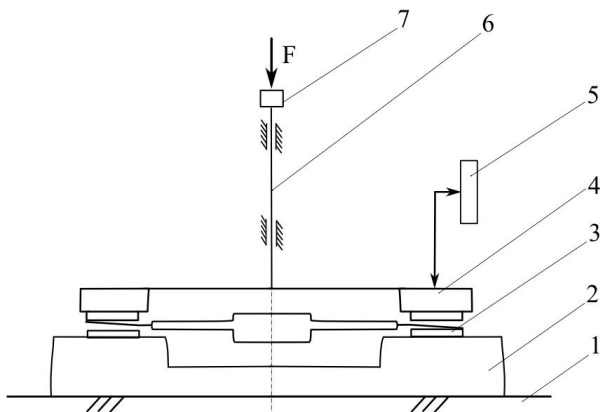


Рис. 1.15. Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики демпфера крутильных колебаний в осевом направлении: 1 – опорная поверхность стенда; 2 – маховик двигателя; 3 – испытуемый ведомый диск; 4 – имитатор нажимного диска; 5 – датчик перемещения; 6 – нагружающее устройство; 7 – датчик силы

Осевая сжимающая нагрузка  $F$  прикладывается к ведомому диску 3 (рис. 1.15) через имитатор нажимного диска 4. При этом записываются – перемещение нажимного диска и передаваемое им осевое усилие. Максимальное усилие определяется из конструкторской документации.

Цикл нагружение/разгружение проводится минимум трижды. По осредненным значениям силы и перемещения строится график зависимости прикладываемого усилия  $F$  от осевой деформации  $S$  ведомого диска (пример на рис. 1.16).



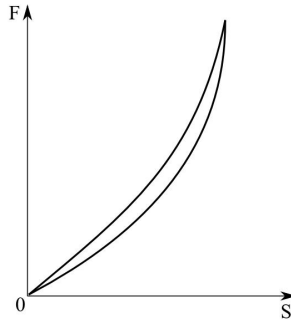


Рис. 1.16. Зависимость прикладываемого усилия от осевой деформации ведомого диска

По скелетной (средней) линии определяется осевая жесткость ведомого диска:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \text{ Н/м,}$$

где  $n$  – число точек по скелетной линии.

Перед проведением испытаний необходимо 20...25 раз нагрузить ведомый диск максимальным прижимным усилием.

#### ***Испытание сегментов ведомого диска на долговечность***

Испытания проводят на стенде с гидравлическим или электромеханическим приводом имитирующем реальное нагружение сегментов ведомого диска. Задаются циклические нагрузки сжатия сегментов.

Принципиальная схема стенда для испытания сегментов ведомого диска на долговечность представлена на рис. 1.17.

Нагрузочные режимы задаются с учетом результатов режимометрирования трансмиссии в дорожных условиях усилия прижатия фрикционных пар нажимным диском, числа циклов выключения-включения сцепления. Если отсутствуют данные режимометрирования можно принять усилие прижатия равным расчетному из конструкторской документации. Число циклов выключения-включения сцепления приблизительно можно рассчитать по среднему числу выключения сцепления на 100 км пробега автомобиля.

$$N_u = \frac{n}{100} \cdot L \text{ циклов,}$$

где  $L$  – заданный автомобилем ресурсный пробег автомобиля;  
 $n$  – среднее число выключений сцепления на 100 км пробега.

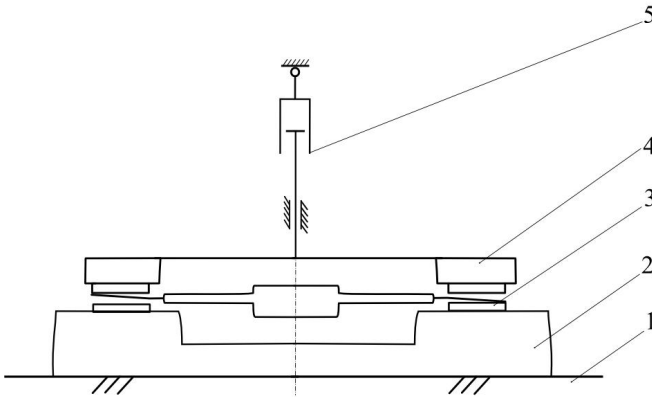


Рис. 1.17. Принципиальная схема стенда для испытания сегментов ведомого диска на долговечность: 1 – опорная поверхность стенда; 2 – маховик двигателя; 3 – испытуемый ведомый диск; 4 – имитатор нажимного диска; 5 – нагружающее устройство

Испытания проводят до отказа любого из сегментов или до наступления заданного числа циклов испытаний.

#### ***Испытание ведомого диска сцепления на разрушение от действия центробежных сил***

Маловероятны, но тем не менее, возможны режимы движения, при которых ведомый диск раскручивается до очень высоких оборотов. Такое возможно при переходе на режимы торможения двигателем и случайном включении не четвертой, а второй передачи, не третьей, а первой передачи в коробке передач и выключенном в это время сцеплении. При высоких оборотах ведомого диска, не прижатого нажимным диском к маховику, возможно, его разрушение от действия центробежных сил.

Принципиальная схема стенда для испытания ведомого диска сцепления на разрушение от действия центробежных сил представлена на рис. 1.18.

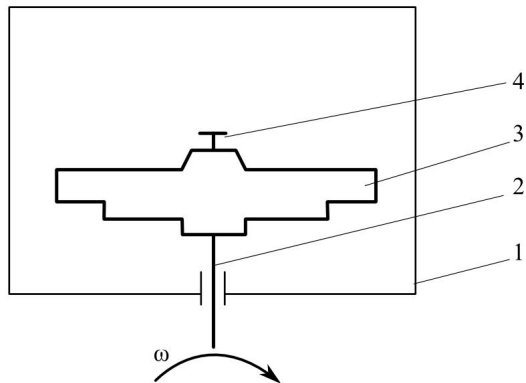


Рис. 1.18. Принципиальная схема стенда для испытания ведомого диска на разрушение от действия центробежных сил: 1 – закрытая камера с люком; 2 – ведущий вал; 3 – испытуемый ведомый диск сцепления; 4 – закрепление ведомого диска от осевого перемещения

Ведомый диск сцепления испытывается на оборотах и в течение времени оговоренных программой проведения испытаний. После испытаний ведомый диск осматривается. На его деталях не должно быть трещин, разрушений.

### 1.2.2. Испытания нажимного диска с корзиной в сборе

#### *Определение характеристик нажимного диска с корзиной в сборе*

Определяют упруго-диссипативную характеристику нажимного диска с корзиной в сборе, по которой оценивают упругую характеристику узла, потери на трение и ряд других характеристик.

Схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики нажимного диска с корзиной в сборе представлена на рис. 1.19.

На рабочем столе 4 стенда крепится маховик двигателя 3 с отверстием для штока датчика перемещения нажимного диска 5. На маховик укладывается имитатор ведомого диска сцепления 2 – металлический диск, внешний и внутренний диаметры которого, равны соответственно внешнему и внутреннему диаметру фрикционных накладок сцепления, а толщина равна расстоянию между внешними поверхностями фрикционных накладок при полностью включенном сцеплении. В имитаторе ведомого диска так же предусматривается отверстие для штока датчика перемещения нажимного диска. Затем устанавливается и крепится к маховику испытываемая корзина сцепления в сборе 1.

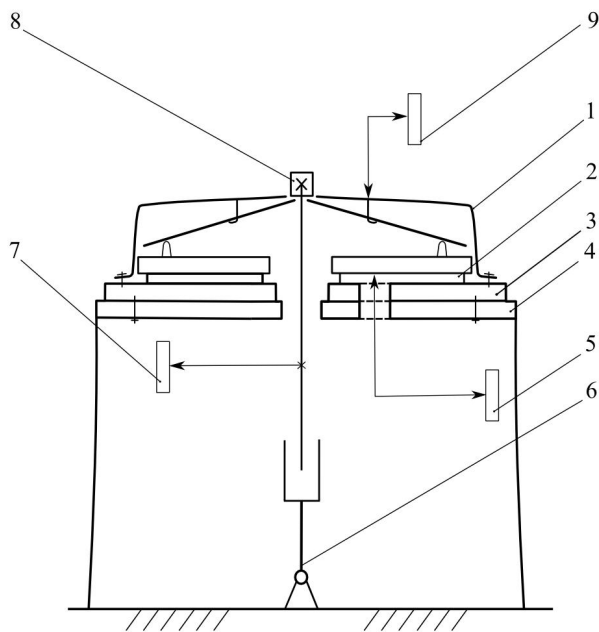


Рис. 1.19. Схема стенда для определения упруго–диссипативной характеристики нажимного диска с корзиной в сборе: 1 – испытуемый нажимной диск с корзиной в сборе; 2 – имитатор ведомого диска сцепления; 3 – маховик двигателя; 4 – рабочий стол; 5 – датчик перемещения нажимного диска; 6 – нагружающее устройство; 7 – датчик перемещения штока гидроцилиндра; 8 – датчик силы с выжимным подшипником сцепления; 9 – датчик деформации корзины сцепления

Нагружающее устройство 6 прикладывает через датчик силы 8 и выжимной подшипник усилие к нажимному упругому элементу корзины сцепления, к примеру, к тарельчатой пружине. Выжимной подшипник перемещается на максимальную величину хода выключения оговорённую конструкторской документацией.

Перед проведением испытания выполняется нагружение 20–25 максимальных ходов нажимного диска для приработки элементов корзины сцепления в сборе. При проведении испытания выполняются минимум три хода выключения сцепления. Датчик 8 определяет прикладываемое выжимное усилие, датчик 7 – перемещение штока гидроцилиндра и, соответственно, выжимного подшипника сцепления, датчик 5 – перемещение нажимного диска сцепления. Датчик 9

определяют деформацию опорной стенки корзины при выключении сцепления. Датчики 9 устанавливаются в местах крепления диафрагменной пружины или других упругих элементов к корзине. Датчиков деформации корзины сцепления устанавливается от одного и более.

По результатам испытаний строятся графики зависимостей:

- усилия выключения сцепления от хода выжимного подшипника (пример на рис. 1.20);
- деформации опорной стенки корзины сцепления от усилия выключения сцепления;
- хода нажимного диска от хода выжимного подшипника и другие.

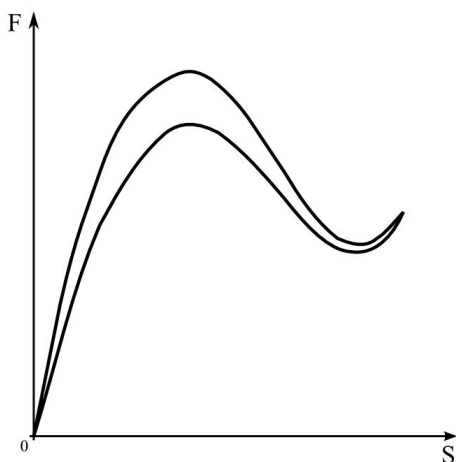


Рис. 1.20. Зависимость усилия выключения сцепления от хода выжимного подшипника

Оценивается соответствие полученных зависимостей приведенным в конструкторской документации.

#### ***Испытание нажимного диска с корзиной в сборе на долговечность***

Испытания проводят на стенде с гидравлическим или электромеханическим приводом, имитирующим нагружение элементов нажимного диска с корзиной в сборе при выключении-включении сцепления (испытываемый объект при этом не вращается).

Принципиальная схема стенда для испытания нажимного диска с корзиной в сборе на долговечность приведена на рис. 1.21.

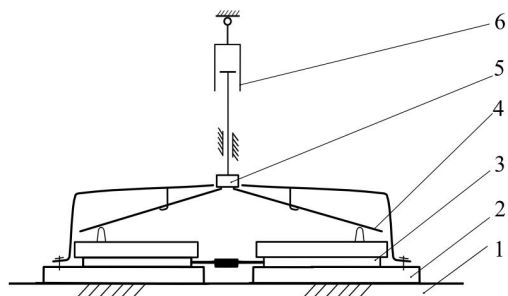


Рис. 1.21. Принципиальная схема стенда для испытания нажимного диска с корзиной в сборе на долговечность: 1 – рабочий стол; 2 – маховик двигателя; 3 – ведомый диск сцепления; 4 – испытуемый нажимной диск с корзиной в сборе; 5 – выжимной подшипник или его имитатор; 6 – нагружающее устройство

Нагрузочные режимы задаются с учетом результатов режимометрирования трансмиссии в дорожных условиях, где определяется число циклов выключения-включения сцепления, ход выжимного подшипника. Если отсутствуют данные режимометрирования можно принять ход выжимного подшипника равным расчетному из конструкторской документации. Число циклов выключения-включения сцепления приблизительно можно рассчитывать по среднему числу выключения сцепления на 100 км пробега автомобиля.

Перед проведением испытаний определяются характеристики нажимного диска с корзиной в сборе (п. 1.2.2).

Испытания проводят до отказа любой детали нажимного диска с корзиной в сборе или до наступления заданного числа циклов испытаний.

После окончания полного цикла испытаний определяются характеристики нажимного диска с корзиной в сборе (п. 1.2.2) и сравниваются с приведенными в конструкторской документации. Проводится визуальная оценка нажимного диска с корзиной в сборе – износ деталей, отсутствие или наличие трещин и определяется в работоспособном ли состоянии испытанное изделие.

В описанной выше методике испытаний есть, по крайней мере, два допущения:

- 1) ход выжимного подшипника при выключении – включении сцепления постоянный;

2) испытуемый объект – нажимной диск с корзиной в сборе не вращается.

Уйти от первого допущения достаточно сложно, поскольку набор статистики хода выжимного подшипника при включении-выключении сцепления требует очень большого объема дорожных испытаний в различных эксплуатационных условиях проведения испытаний: интенсивность движения на дороге; рельеф местности; тип дорожного покрытия; время года; загрузка автомобиля; манера вождения автомобиля, в том числе нажатия на педаль сцепления разными водителями; износ фрикционных накладок сцепления и их контртел – маховика, нажимного диска и т. д.

От второго допущения можно уйти, проводя испытания на стенде с нагружением от маховых масс (п. 1.2), где, кроме того, что вращаются маховик двигателя, и нажимной диск с корзиной в сборе, в процессе испытаний изнашиваются фрикционные накладки и их контртела.

### **1.2.3. Испытания привода сцепления**

#### *Определение характеристик привода сцепления*

Для оценки соответствия привода сцепления конструкторской документации определяют усилие, прикладываемое к педали сцепления, ее ход, ход нажимного диска, коэффициент полезного действия привода.

Возможны два варианта проведения испытаний:

- 1) датчики устанавливаются на автомобиле;
- 2) привод сцепления, сцепление, коробка передач, блок цилиндров двигателя с коленчатым валом и маховиком устанавливаются на стенде геометрически, так же как и на автомобиле и оснащаются датчиками (рис. 1.22).

При определении характеристик привода сцепления на автомобиле наибольшую сложность представляет установка датчиков хода нажимного диска. При определении характеристик привода сцепления на стенде основная задача повторить пространственную геометрию установки узлов и деталей аналогичной их установке на автомобиле. Стенд оснащается датчиками хода педали сцепления, усилия прикладываемого к педали сцепления, усилия прикладываемого к выжимному подшипнику, хода нажимного диска.

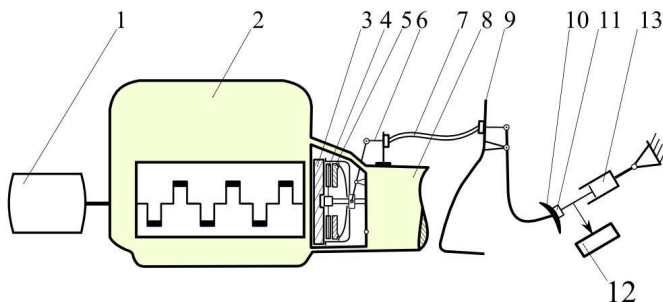


Рис. 1.22. Принципиальная схема стенда для определения характеристик привода сцепления: 1 – приводной электродвигатель; 2 – блок цилиндров ДВС с коленчатым валом и системой смазки; 3 – маховик двигателя; 4 – ведомый диск сцепления; 5 – нажимной диск с корзиной в сборе; 6 – трос привода сцепления; 7 – оболочка троса привода сцепления; 8 – картер коробки передач с первичным валом; 9 – задняя стенка моторного отсека с кронштейном крепления педали сцепления; 10 – педаль сцепления; 11 – датчик силы; 12 – датчик перемещения; 13 – устройство для нажатия на педаль сцепления

Перед проведением испытаний выполняется приработка элементов привода, корзины сцепления в сборе необходимым числом нажатия на педаль сцепления. Проводятся испытания. Прикладывается усилие к педали сцепления. Педаль плавно перемещается на указанный в программе испытаний ход или до упора в пол или ограничитель хода. Затем педаль плавно отпускается до полного снятия усилия с нее. Ход выключения – включение сцепления повторяется минимум трижды.

Строится зависимость усилия прикладываемого к педали сцепления от ее хода (рис. 1.23).

По зависимости усилия прикладываемого к педали сцепления от ее хода определяют трение в приводе сцепления  $F_p$ , полный ход педали  $S_{п\max}$  и максимальное усилие, прикладываемое к ней на ходе выключения сцепления  $F_{п\max}$ .



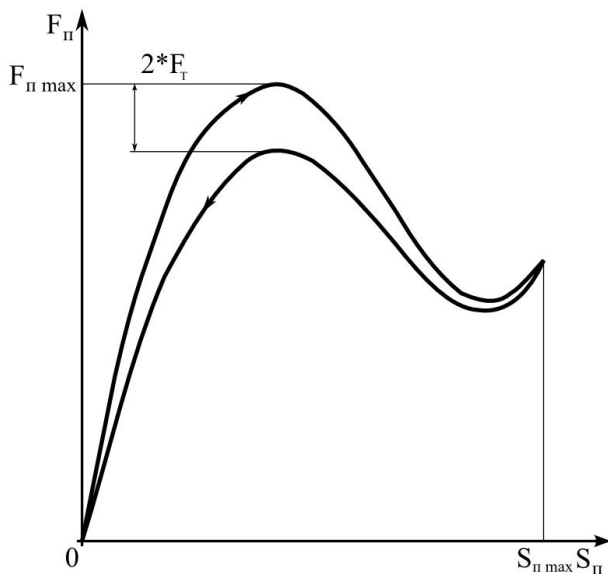


Рис. 1.23. Зависимость усилия прикладываемого к педали сцепления от ее хода

Результаты определения полного хода педали сцепления, максимального усилия прикладываемого к педали сцепления, хода нажимного диска, силы трения в приводе сравниваются с заданными в конструкторской документации.

Для определения коэффициента полезного действия (КПД) привода определяется максимальное усилие, прикладываемое к педали сцепления  $F_{П \max}$  при выключении сцепления и усилие, передаваемое при этом через выжимной подшипник  $F_{ВП}$ . Усилие, передаваемое через выжимной подшипник  $F_{ВП}$  приводим через плечи вилки выключения сцепления и плечи педали сцепления к педали  $F'_{ВП}$  (рис. 1.24)

$$F'_{ВП} = F_{ВП} \cdot \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{a_2}{a_1}.$$

Коэффициент полезного действия привода сцепления определяется

$$\eta = \frac{F'_{ВП}}{F_{П \max}}.$$

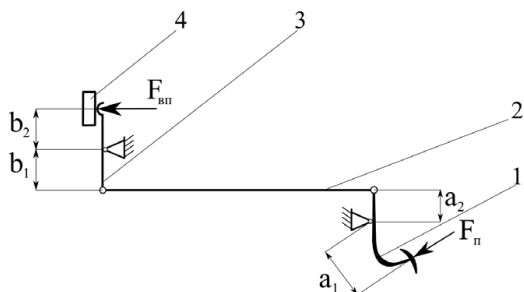


Рис. 1.24. Кинематическая схема тросового привода сцепления:  
 1 – педаль сцепления; 2 – трос привода сцепления;  
 3 – вилка выключения сцепления; 4 – выжимной подшипник

### *Испытание привода сцепления на долговечность*

Испытания проводят на стенде с пневматическим, гидравлическим или электромеханическим приводом, имитирующим реальное нагружение привода сцепления. Задаются циклические нагрузки привода при выключении – включение сцепления.

Принципиальная схема стенда для испытания (механического тросового) привода сцепления на долговечность представлена на рис. 1.25.

Стенд включает вертикальную пластину, к которой крепится маховик двигателя и картер сцепления, маховик двигателя, ведомый диск, корзину в сборе, вилку с подшипником выключения, картер сцепления, картер коробки передач с первичным валом, тросовый привод и педальный узел. Пространственно картер сцепления и педальный блок располагаются так же как на автомобиле. Нажатие на педаль сцепления осуществляется пневматическим, гидравлическим или электромеханическим приводом. Ход педали сцепления обеспечивает отход нажимного диска соответствующий конструкторской документации. Скорость перемещения педали сцепления на ходе выключения и на ходе включения сцепления определяется по результатам режимометрирования в дорожных условиях.

Перед проведением испытания определяют осевую жесткость ведомого диска сцепления, упруго-диссипативную характеристику нажимного диска с корзиной в сборе для подтверждения их соответствия требованиям конструкторской документации. Определяют КПД

привода сцепления, зависимость усилия прикладываемого к педали сцепления от ее хода и т. д.

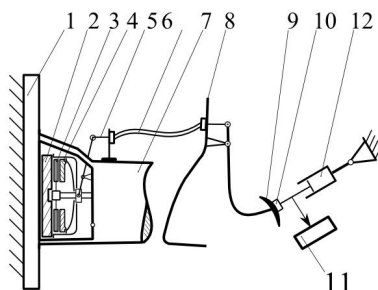


Рис. 1.25. Принципиальная схема стенда для испытания механического тросового привода сцепления: 1 – вертикальная пластина стенда; 2 – маховик двигателя; 3 – ведомый диск сцепления; 4 – нажимной диск с корзиной в сборе; 5 – трос привода сцепления; 6 – оболочка троса привода сцепления; 7 – картер коробки передач с первичным валом; 8 – задняя стенка моторного отсека с кронштейном крепления педали сцепления; 9 – педаль сцепления; 10 – датчик силы; 11 – датчик перемещения; 12 – устройство для нажатия на педаль сцепления

Через каждые 100000 тысяч циклов выключения-включения сцепления определяется КПД привода и усилие прикладываемого к педали сцепления. Общее число циклов испытаний определяют:

$$N_{\text{ц}} = L_{\text{п}} \cdot K,$$

где  $N_{\text{ц}}$  – число циклов испытаний;  $L_{\text{п}}$  – ресурсный пробег автомобиля, заданный автопроизводителем;  $K$  – число выключений сцепления на 1 километр пробега (определяется по результатам режимометрирования).

Привод должен пройти весь цикл испытаний без поломок. После завершения испытаний определяют усилие, прикладываемое к педали и ход педали сцепления, визуально оценивают состояние элементов привода, определяется в работоспособность испытываемого изделия.

#### 1.2.4. Дорожные испытания сцепления

В дорожных условиях оценивается полнота выключения и включения сцепления, отсутствие вибраций, заеданий, шумов при этом. На подъеме заданной крутизны оценивается термическая стойкость фрикционных накладок – автомобиль полной массой должен опре-

деленное число раз тронуться в гору. Оценивается информативность привода сцепления. В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка сцепления до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии сцепления предъявляемым требованиям.

Режимометрирование сцепления проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании сцепления могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля (если движется);
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя;
- угловая скорость вращения первичного вала коробки передач;
- угол деформации упругого элемента демпфера крутильных колебаний;
- крутящий момент на одном из валов (обычно первичном) коробки передач;
- ход педали сцепления;
- ход одной из точек вилки выключения сцепления или нажимного диска сцепления;
- усилие, прикладываемое водителем к педали сцепления;
- температура маховика двигателя (в нескольких точках);
- температура нажимного диска сцепления (в нескольких точках);
- давление в гидроприводе сцепления (если привод гидравлический);
- температура рабочей жидкости в гидроприводе сцепления (если привод гидравлический) и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании сцепления. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний сцепления.

### **1.3. Испытания коробки передач**

#### **1.3.1. Испытание коробки передач на долговечность на стенде с замкнутым потоком мощности**

Ресурсные испытания процесс всегда трудоемкий и затратный. Применение стенда с замкнутым потоком мощности позволяет проводить испытания практически круглосуточно. Возможна автоматизация изменения режимов испытаний.

Схема стенда с замкнутым потоком мощности для испытания коробки передач на долговечность представлена на рис. 1.26.

Перед очередным циклом испытаний связанным с остановкой стенда для переключения передач в испытуемых коробках передач 5 (рис. 1.26) включается передача определенная программой проведения испытаний. Тяговый электродвигатель с редуктором 1 задает необходимый скоростной режим, устройство 6 создает необходимый момент скручивающий валы коробки передач и изгибающий зубья шестерен включенной передачи, что влечет за собой появление осевых, радиальных нагрузок на валы коробки передач, подшипниковые опоры, нагрузок на картерные детали.

Программа испытаний задает режимы испытаний по включенной передаче, угловой скорости вращения первичного вала, скручивающему моменту, времени работы на каждом режиме. Переход на другой скоростной и/или моментный режимы возможен без остановки стенда. Переключение передачи связано с остановкой стенда. Изменение скоростного режима, изменение скручивающего момента, пе-

реключение передач может быть полностью автоматизировано с помощью компьютера, программного обеспечения, цифро-аналоговых преобразователей и систем управления тяговым электродвигателем, устройством для создания скручивающего момента, устройством для переключения передач.

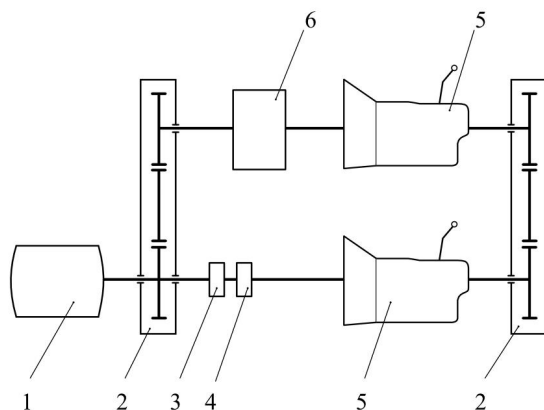


Рис. 1.26. Схема стэнда с замкнутым потоком мощности для испытания коробки передач на долговечность: 1 – тяговый электродвигатель с редуктором; 2 – трехвалный редуктор; 3 – датчик частоты вращения; 4 – датчик крутящего момента; 5 – испытуемые коробки передач; 6 – устройство для создания скручивающего момента

Режимы нагружения в программе испытаний формируются по результатам режимометрирования трансмиссии в дорожных условиях. В качестве устройства для создания скручивающего момента 6 (рис. 1.26) может применяться вращающийся гидроцилиндр (рис. 1.27).

Вращающийся гидроцилиндр встраивается последовательно в силовой поток. При подаче рабочей жидкости под давлением в полости *A* и *B* вал проворачивается относительно корпуса, создавая скручивающее нагружение на валы стэнда (в коробках передач должна быть включена одна из передач). Зазоры «z» между лопатками и валом, лопатками и корпусом показаны условно, для лучшего чтения картинки. На самом деле полости вращающегося гидроцилиндра достаточно герметичны. Вращающийся гидроцилиндр позволяет изменять скручивающий момент без остановки стэнда, причем не ступенчато, а плавно.

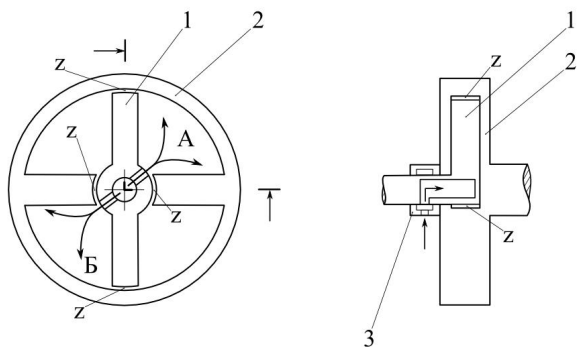


Рис. 1.27. Схема вращающегося гидроцилиндра: 1 – вал с лопатками; 2 – корпус с лопатками; 3 – система подачи рабочей жидкости

Испытания проводят до окончания всего цикла испытаний или до поломки коробки передач.

### 1.3.2. Определение статической прочности коробки передач

Иногда трансмиссия и, в частности, коробка передач, испытывает значительные пиковые нагрузки. К примеру, при броске сцепления во время трогания автомобиля, особенно полностью груженого и в гору, а также в момент переключения передач. Пиковые моменты на первичном валу коробки передач могут в разы превосходить максимальный эффективный момент двигателя.

Для оценки статической прочности коробки передач применяют стенд, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.28.

Вторичный вал блокируется от проворачивания. Передняя часть картера коробки передач крепится через картер сцепления к вертикальной пластине стенда имитирующей заднюю стенку блока цилиндров.

При включенной соответствующей передаче к первичному валу прикладывается крутящий момент, величина которого задается в программе испытаний.

Статическая прочность коробки передач считается удовлетворительной, если в процессе проведения испытаний под действием приложенных нагрузок не возникают поломки валов, зубьев шестерен, синхронизаторов, стенок картера.

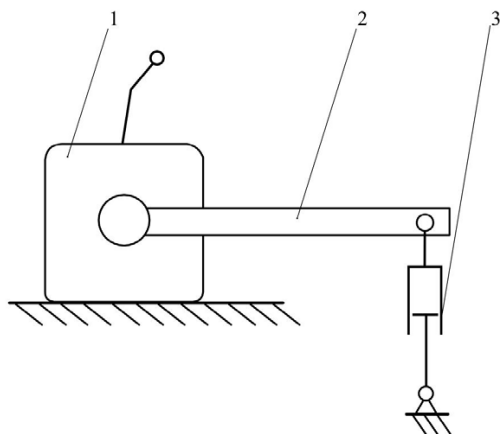


Рис. 1.28. Принципиальная схема стенда для определения статической прочности коробки передач: 1 – испытываемая коробка передач; 2 – рычаг; 3 – нагружающее устройство

### 1.3.3. Испытание коробки передач на смазываемость

Чем выше уровень масла в коробке передач, тем лучше смазываемость её компонентов, но, при этом увеличивается потери подводимой мощности на размешивание и разбрызгивание масла. Когда предварительно определен требуемый уровень масла, необходимо провести экспериментальную оценку смазываемости коробки передач. Дешевле и быстрее провести испытания на стенде, имитируя различные режимы работы коробки передач по включенным передачам, скоростным режимам, ее наклону.

Принципиальная схема стенда для испытания коробки передач на смазываемость представлена на рис. 1.29.

Стенд оснащается датчиками частоты вращения вала тягового электродвигателя, температуры масла в коробке передач. Угол продольного наклона коробки передач при включенной передаче должен соответствовать углу максимально преодолеваемого автомобилем подъема при движении на этой передаче. При этом частота вращения первичного вала коробки передач должна соответствовать условию движения автомобиля на максимальной скорости на этом подъеме на выбранной передаче.



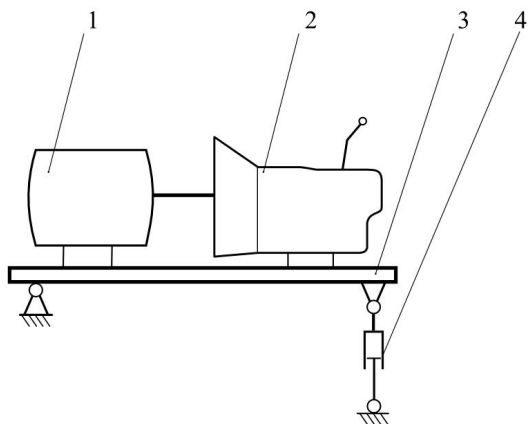


Рис. 1.29. Принципиальная схема стенда для испытания коробки передач на смазываемость: 1 – тяговый электродвигатель; 2 – испытуемая коробка передач; 3 – рама стенда; 4 – механизм продольного наклона

Продолжительность испытания на каждой передаче, угол наклона коробки передач, соответствующая им частота вращения первичного вала задаются программой испытаний.

После проведения всех циклов испытаний масло сливается, коробка передач разбирается и оценивается наличие задиров на валах, зубьях шестерен, повреждений тел качения и беговых дорожек подшипников, коррозии на деталях и т. д.

Потери на размешивание и разбрызгивание масла оцениваются по величине установившейся температуры масла при длительной работе коробки передач на высшей передаче, при частоте вращения первичного вала, соответствующей движению автомобиля на максимальной скорости. Чем выше температура, тем больше потери.

Стенд может оснащаться устройством для поперечного наклона коробки передач (имитация движения вдоль косогора). Условия смазываемости коробки передач еще более усложняются. Углы поперечного наклона коробки передач, в сочетании с углами продольного наклона, скоростные режимы, продолжительность испытания на каждой передаче оговариваются в программе испытаний.

### 1.3.4. Испытания привода коробки передач

#### *Оценка точности включения выбранной передачи*

Приводы переключения передач, особенно дистанционные могут провоцировать включение не выбранной передачи, а соседней по схеме переключения. Причиной может быть люфт в приводе, податливость его элементов. Для оценки точности включения выбранной передачи применяют устройство, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.30.

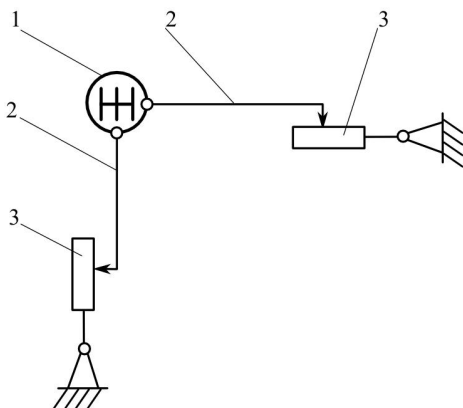


Рис. 1.30. Схема устройства для оценки точности включения выбранной передачи в коробке передач: 1 — рукоятка рычага переключения передач; 2 — тяга; 3 — датчик перемещения

Тяги 2 (рис. 1.30) применяют достаточной длины, чтобы минимизировать перемещение конца тяги, соединенного с датчиком перемещения, при движении рукоятки рычага переключения передачи перпендикулярно этому датчику.

Последовательность переключения передач во время испытаний хаотичная, важно определить все возможные траектории движения рычага переключения передач при включении той или иной передачи.

К примеру, на рис. 1.31,а представлена схема переключения пятиступенчатой коробки передач и на рис. 1.31,б границы плоской картины возможных траекторий движения рукоятки рычага при включении той или иной передачи.

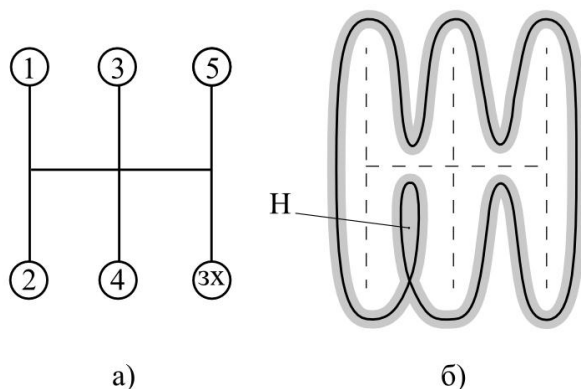


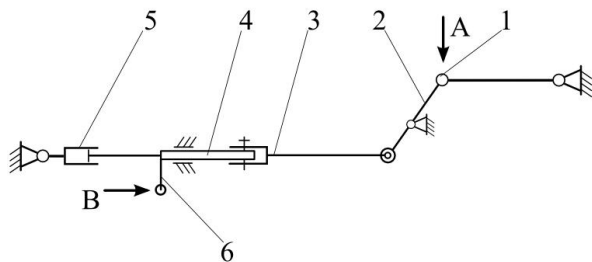
Рис. 1.31. Пример результатов оценки точности включения выбранной передачи

Из анализа рис. рис. 1.31,б можно сделать вывод, что механизм переключения испытуемой коробки передач обеспечивает однозначное включение передач: 1, 3, 5, 3.Х. Наличие зоны  $H$  указывает на наложение траекторий движения рычага переключения при включении 2 и 4 передач. То есть, при движении рычага переключения по зоне  $H$  возможно включение как 2, так и 4 передач. Механизм переключения такой коробки передач требует переработки.

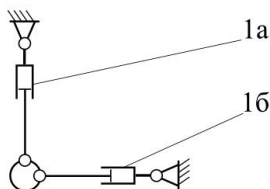
#### ***Испытание привода на долговечность***

Испытание проводят на стенде, имитирующем реальные нагрузочные режимы с гидравлическим, пневматическим или электрическим приводом. Принципиальная схема стенда для испытания привода переключения передач (механического штокового) на долговечность представлена на рис. 1.32.

При проведении испытаний гидроцилиндры 1а и 1б (рис. 1.32) перемещают рукоятку рычага переключения передачи, имитируя выбор и включение соответствующей передачи. Гидроцилиндры 7 и 5 создают сопротивление вращению и продольному перемещению штока 4, нагружая тем самым привод. Нагрузочные режимы и число включения той или иной передачи определяются режимометрированием при дорожных испытаниях автомобиля. Привод переключения передач должен выдержать заданное число циклов испытаний.



Вид А



Вид В

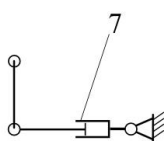


Рис. 1.32. Принципиальная схема стенда для испытания привода переключения коробки передач (механического штокового) на долговечность: 1 – механизм перемещения рукоятки привода; 1а – гидроцилиндр перемещающий рукоятку в направлении предварительного выбора передачи; 1б – гидроцилиндр перемещающий рукоятку в направлении включения передачи; 2 – рычаг переключения передач; 3 – шток привода; 4 – шток механизма включения передачи коробки передач; 5 – гидроцилиндр создающий нагрузку на ходе включения передачи; 6 – поводок, жестко закрепленный на штоке 4; 7 – гидроцилиндр создающий нагрузку на ходе предварительного выбора передачи

### 1.3.5. Испытания синхронизатора

#### *Испытание синхронизатора на долговечность*

Испытания проводятся на стенде с приводом через вторичный вал коробки передач (рис. 1.33).

Приводной электродвигатель 1 (рис. 1.33) с редуктором задает нужную частоту вращения вторичного вала при выключении-включении передачи. Датчики 3 и 2 контролируют частоту вращения вторичного вала и момент на нем при включении-выключении передачи. Устройство 6 выключает и включает передачу. Датчик 5 позволяет контролировать усилие, прикладываемое к рычагу переключения передач при выключении-включении передачи. Контроль включенной

передачи осуществляется датчиком 7. На носке первичного вала закреплен ведомый диск сцепления, создающий инерционные нагрузки при включении передачи.

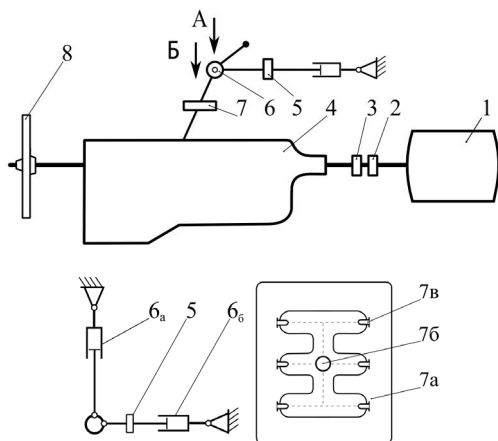


Рис. 1.33. Схема стенда для определения долговечности синхронизаторов коробки передач: 1 – приводной электродвигатель с редуктором; 2 – датчик крутящего момента; 3 – датчик частоты вращения; 4 – испытуемая коробка передач; 5 – датчик силы; 6 – устройство переключения передач; 7 – датчик включенной передачи; 8 – ведомый диск сцепления

Устройство переключения передач 6 (рис. 1.33, вид А) состоит из гидроцилиндра выбора положения рычага переключения передач  $6_a$  и гидроцилиндра выключения-включения передачи  $6_b$  с датчиком усилия включения 5.

Датчик включенной передачи (рис. 1.33, вид Б) состоит из корпуса 7а, микровыключателей 7в по числу передач. Рычаг переключения передач 7б при включенной передаче замыкает соответствующий микровыключатель.

Программой испытаний задаются: число циклов включения передачи, усилие, прикладываемое к рычагу переключения передач при включении передачи, температура масла в коробке передач, частота вращения первичного и вторичного валов КП при включении передачи. Переключение передач осуществляется в режиме  $(i + 1) \rightarrow i \rightarrow (i + 1)$ , где  $i$  – искомая передача.

В процессе испытаний через определенное методикой число циклов включения определяется износ пар трения синхронизаторов, износ механизма переключения передач коробки передач. Испытания проводятся до окончания всего цикла испытаний или до поломки испытуемого объекта. В процессе испытаний оценивается отсутствие характерного треска синхронизаторов при включении передачи.

### **1.3.6. Дорожные испытания коробки передач**

В дорожных условиях оцениваются акустические качества коробки передач, отсутствие вибраций, заеданий, шумов при переключении передач, оценка самовыключения передач. Дается оценка переключению передач с точки зрения эргономики.

В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка коробки передач до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии коробки передач предъявляемым требованиям.

Режимометрирование коробки передач проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании коробки передач могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля (если движется);
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя;
- угловая скорость вращения первичного вала;
- угловая скорость вращения вторичного вала;
- крутящий момент на одном из валов (обычно первичном);

- положение органа регулирующего подачу топлива в двигатель (процент подачи топлива в двигатель, от холостого хода до полной 100% подачи);
- номер включенной передачи;
- усилие, прикладываемое к рукоятке рычага переключения передач при включении/выключении передачи, выборе передачи;
- изгибающие усилия на вилках штока переключения передач;
- механические напряжения на панелях картера коробки передач;
- температура масла в коробке передач;
- углы продольного и поперечного наклона автомобиля и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров, которые могут фиксироваться при режимометрировании коробки передач. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний коробки передач.

#### **1.4. Испытание раздаточной коробки**

Испытания раздаточной коробки, демультипликатора, делителя проводятся, в основном, по аналогичным методикам и на тех же стендах, что и коробки передач.

При режимометрировании в дорожных условиях замеряют и регистрируют текущее время, скорость движения автомобиля, угловую скорость вращения и передаваемый момент любого вала раздаточной коробки, делителя, демультипликатор, включенную передачу и др.

#### **1.5. Испытания приводных и карданных валов**

Приводные и карданные валы испытывают в дорожных условиях, на стендах. Наиболее близкая имитация эксплуатационных режимов нагружения возможна на стенде с разомкнутым потоком мощности (см. п. 1.1).

### 1.5.1. Испытание приводных и карданных валов на стенде со знакопеременным нагружением

Испытание приводных и карданных валов на стенде со знакопеременным нагружением проводят для определения долговечности в первую очередь карданных шарниров и шлицевых соединений под действием знакопеременных нагрузок при переходе автомобиля из тягового режима движения в режим торможения двигателем и обратно.

Принципиальная схема стенда со знакопеременным нагружением для испытания приводных и карданных валов приведена на рис.1.34.

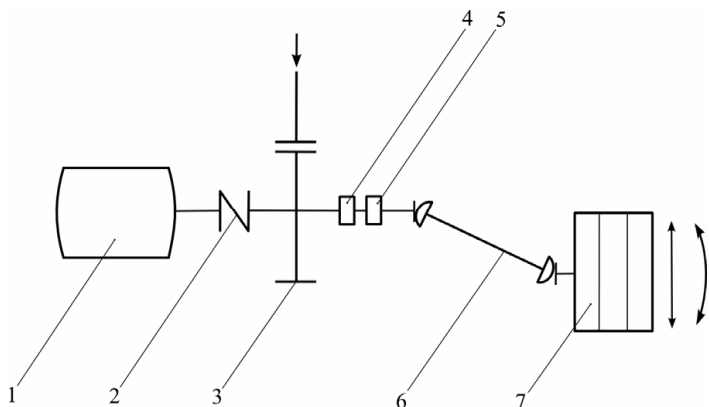


Рис. 1.34. Стенд для испытания приводных и карданных валов со знакопеременным нагружением: 1 – тяговый электродвигатель; 2 – обгонная муфта; 3 – тормозной механизм; 4 – датчик частоты вращения; 5 – датчик крутящего момента; 6 – испытуемый приводной вал; 7 – маховая масса

Стенд включает тяговый электродвигатель 1, обгонную муфту (муфту свободного хода) 2, тормозной механизм 3, датчик частоты вращения 4, датчик крутящего момента 5, маховую массу 7, имитирующую массу поступательно движущегося автомобиля, приходящуюся на испытуемый карданный или приводной вал. Маховая масса имеет возможность линейного перемещения поперёк оси вращения для одновременного одинакового изменения угла во внешнем и внутреннем карданных шарнирах. Для изменения угла в наружном шарнире маховая масса имеет возможность углового перемещения вокруг центра наружного шарнира.



Тормозной механизм 3 может быть фрикционным, гидравлическим, электропорошковым и т. д.

Электродвигатель разгоняет маховую массу с угловой скорости  $\omega_1$ , до угловой скорости  $\omega_{i+1}$  за время  $t_{i, i+1}$ . При этом на испытуемый карданный или приводной вал действует крутящий момент

$$T = J_M \cdot \frac{\omega_{i+1} - \omega_1}{t_{i, i+1}},$$

где  $J_M$  – момент инерции маховой массы, имитирующей массу поступательно движущегося автомобиля, приходящуюся на испытуемый карданный или приводной вал.

Затем тормозной механизм 3 замедляет угловую скорость вращения маховой массы с  $\omega_{i+1}$  до  $\omega_1$  за время  $t_{i, i+1}$ . На испытуемый вал действует тот же крутящий момент  $T$ , но с обратным знаком.

Количество изменений знака момента на единицу пробега, амплитуды пиковых моментов, углы в шарнирах (для приводных валов отдельно для внутреннего и наружного шарниров), определяют и задают по результатам режимометрирования в дорожных условиях.

Приводной или карданный вал считаются прошедшими испытания на циклическую долговечность если:

- выдержали без поломок весь цикл испытаний;
- при вращении валов, с углами в шарнирах в пределах заданных в конструкторской документации, под действием приложенного крутящего момента, не возникает характерных стуков и хрустов.

### **1.5.2. Испытание приводных и карданных валов на стенде с замкнутым потоком мощности**

Испытания приводных и карданных валов на долговечность проводятся на различных скоростях вращения, передаваемых крутящих моментах, углах в шарнирах.

Схема стенда с замкнутым потоком мощности для испытания приводных и карданных валов на долговечность представлена на рис. 1.35.

Тяговый электродвигатель с редуктором 1 задает необходимый скоростной режим, устройство 6 создает необходимый момент, скручивающий приводные или карданные валы, устройство 7 путем перемещения редуктора 2 изменяет угол в шарнирах.

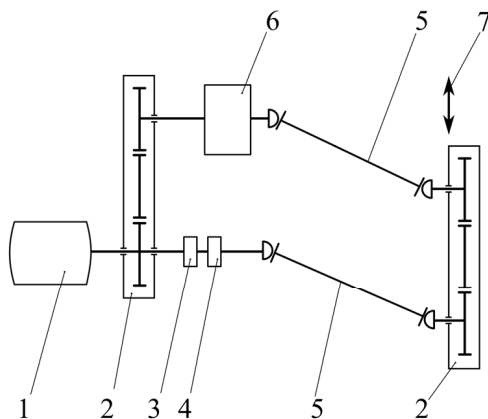


Рис. 1.35. Схема стенда с замкнутым потоком мощности для испытания приводных и карданных валов на долговечность:  
 1 – тяговый электродвигатель с редуктором; 2 – трёхвальный редуктор;  
 3 – датчик частоты вращения; 4 – датчик крутящего момента;  
 5 – испытуемые приводные или карданные валы; 6 – устройство для создания момента, скручивающего испытуемые валы;  
 7 – устройство для изменения углов в шарнирах

Программа испытаний задает режимы испытаний по угловой скорости вращения валов, скручивающему моменту, углам в шарнирах, времени работы на каждом из режимов. Переход на другой скоростной режим, моментный режим, угол в шарнирах возможен без остановки стенда.

Режимы нагружения в программе испытаний формируются по результатам режимометрирования трансмиссии в дорожных условиях. Принцип работы устройства для создания скручивающего момента изложен в п. 1.3.2. Испытания проводят до окончания всего цикла испытаний или поломки приводного или карданного вала. Во время проведения испытаний, при вращении валов с углами в шарнирах в пределах заданных в конструкторской документации под действием приложенного скручивающего момента, не должно возникать характерных стуков и хрустов.

### 1.5.3. Определение статической прочности приводных и карданных валов

Приводные и карданные валы испытывают как значительные циклические, причем знакопеременные, нагрузки, так и пиковые нагрузки. Пиковые нагрузки возникают при трогании автомобиля, особенно груженого в гору, при броске сцепления и т. д.

Для испытания приводных и карданных валов на статическую прочность вал закрепляется на стенде (рис. 1.36).

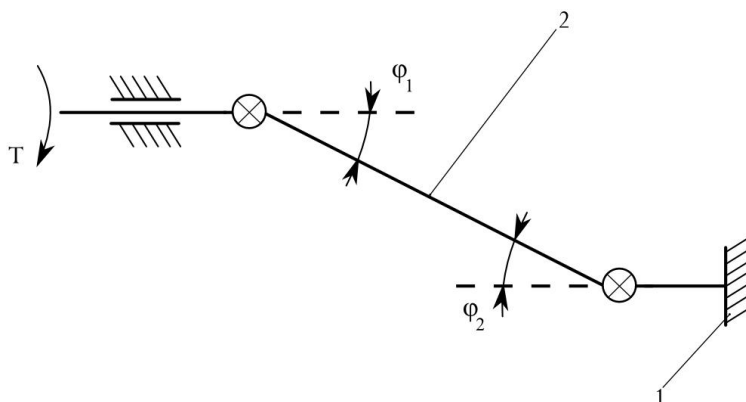


Рис. 1.36. Принципиальная схема стенда для испытания приводных и карданных валов на статическую прочность: 1 – стенд; 2 – приводной или карданный вал

Один конец вала закрепляется от проворачивания, к другому прикладывается крутящий момент, заданный в конструкторской документации. Углы в шарнирах, положение шлицевого соединения в карданных валах, положение шарнира компенсирующего осевое перемещение для приводных валов устанавливаются в сочетании, создающем наибольшие нагрузки в элементах приводного или карданного валов (но в пределах рабочих значений, оговоренных в конструкторской документации).

Приводной или карданный вал считается прошедшим испытание на статическую прочность, если сохранили работоспособность после проведения испытаний.

#### **1.5.4. Дорожные испытания приводных и карданных валов**

В дорожных условиях оценивается отсутствие изгибных колебаний (вибраций) приводных и карданных валов во всем диапазоне частот вращения, и характерного шума при этом.

По вибрациям рычага переключения передач оценивается качество работы шлицевых соединений карданной передачи при переезде неровности.

В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка приводных и карданных валов до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии приводного и карданного вала предъявляемым требованиям.

В дорожных условиях проводится режимометрирование приводных и карданных валов.

Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании приводных и карданных валов могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля;
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- угловая скорость вращения приводного или карданного вала (могут записываться частота вращения коленчатого вала двигателя или первичного вала коробки передач и номер включенной передачи в коробке передач, а угловую скорость вращения приводного или карданного вала получают перерасчетом);
- крутящий момент на приводном или карданном валу;
- угол в каждом шарнирном (карданном) сочленении приводного или, карданного вала (в том числе в резиновых муфтах);

- осевые перемещения в шлицевых соединениях карданного вала;
- осевые перемещения в компенсующих шарнирах приводных валов и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании приводных и карданных валов. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний приводных и карданных валов.

## **1.6. Испытания ведущего моста**

В зависимости от типа подвески колеса к несущей системе автомобиля различают ведущие мосты с неразрезной балкой при зависимой подвеске и неразрезной балкой при независимой подвеске. В неразрезной балке устанавливаются все элементы ведущего моста – главная передача, дифференциал, полуоси, колёсные редукторы (если есть), ступицы колёс. Сама балка выполняет роль картера. При применении разрезной балки ведущего моста картер главной передачи крепится непосредственно или через подрамник к несущей системе автомобиля, крутящий момент от дифференциала передаётся к ступицам ведущих колёс, крепящимся к рычагам независимой подвески, через приводные валы. Испытания приводных валов рассмотрены в п. 1.5. Испытания ведущего моста с неразрезной балкой выполняется как всего моста в сборе, так и покомпонентно.

### **1.6.1. Испытание ведущего моста на статическую прочность**

При испытании неразрезного моста на статическую прочность он устанавливается на стенде, ступицы колес блокируются от проворачивания. К ведущему валу главной передачи прикладывается крутящий момент, величина которого задается в конструкторской документации. Ведущий мост считается прошедшим испытание на статическую прочность, если сохранил работоспособность.

### 1.6.2. Испытание ведущего моста на долговечность

Испытание ведущего моста на долговечность может проводиться в составе всей трансмиссии на стенде с разомкнутым потоком мощности (п. 1.1). Отдельно от трансмиссии ведущий мост испытывается на долговечность на стенде, включающем тяговый электродвигатель с редуктором, ведущий мост и тормозные механизмы (рис. 1.37).

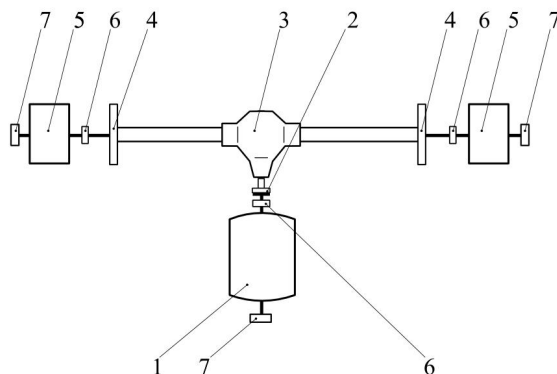


Рис. 1.37. Схема стенда для испытания ведущего моста на долговечность (на примере неразрезного ведущего моста): 1 – тяговый электродвигатель с редуктором; 2 – эластичная муфта; 3 – испытуемый ведущий мост; 4 – ступица колеса; 5 – тормозной механизм; 6 – датчик крутящего момента; 7 – датчик угловой скорости

Тяговый электродвигатель 1 приводит во вращение хвостовик ведущего вала главной передачи с угловой скоростью заданной в программе испытаний. Тормозные механизмы 5 создают моменты сопротивления вращения полуосей одинаковые или разные. Если моменты сопротивления разные, то полуоси будут вращаться с разной угловой скоростью, заданной в программе испытаний и контролируемой датчиками угловой скорости 7. В программе испытаний задаются циклы испытаний, отличающиеся как по скручивающему моменту на полуосях, так и по их частотам вращения.

Изменение моментов сопротивления вращению полуосей и угловой скорости их вращения может происходить без остановки стенда, что позволяет полностью автоматизировать процесс испытаний.

Ведущий мост считается успешно прошедшим испытания на долговечность, если в процессе испытаний ни один из его элементов не

потерял работоспособность, а после завершения всего цикла испытаний на деталях главной передачи, дифференциала, полуосях, картере, ступицах колес не возникли трещины; на трущихся поверхностях не возникли задиры и раскрашивания. В процессе испытаний не допускается течь через сальниковые уплотнения, если их замена при возникновении течи не оговорена в программе испытаний.

### 1.6.3. Испытание балки ведущего моста

При движении по разбитым дорогам, бездорожью балка ведущего моста подвергается значительным нагрузкам, передавая вертикальные, продольные, боковые усилия на несущую систему автомобиля.

Для имитации нагрузочных режимов балка закрепляется на стенде (рис. 1.38) и к ней прикладывается в местах крепления направляющего устройства и упругого элемента статическая нагрузка, оговоренная в программе испытаний.

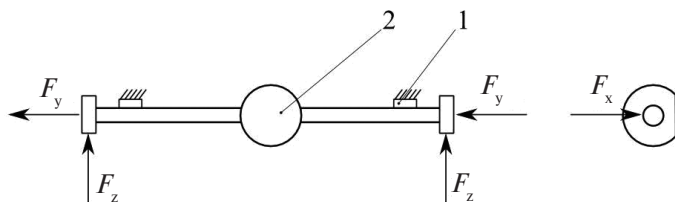


Рис. 1.38. Принципиальная схема стенда для испытания балки ведущего моста: 1 – испытуемая балка ведущего моста; 2 – стенд

Замеряются деформации балки в точках заданных в программе испытаний. При необходимости наклеиваются тензодатчики и определяются механические напряжения в балке.

Полученные значения деформаций и механических напряжений сравниваются с заданными в программе испытаний.

### 1.6.4. Дорожные испытания ведущего моста

В дорожных условиях оценивается отсутствие стуков в главной передаче и дифференциале при переходе из тягового режима в режим торможения двигателем и обратно, отсутствие характерного воя главной передачи в тяговом режиме. Оценивается герметичность сальниковых уплотнений и стыков картерных деталей.

В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка ведущего моста до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии ведущего моста предъявляемым требованиям.

Режимометрирование ведущих мостов проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании ведущих мостов могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля;
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- угловая скорость вращения ведущего вала главной передачи;
- угловая скорость вращения каждой полуоси или приводного вала;
- крутящий момент на ведущем валу главной передачи;
- крутящий момент на каждой полуоси или приводном валу;
- температура рабочей жидкости (масла) в картере главной передачи механические напряжения на панелях картера ведущего моста и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании ведущего моста. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний ведущих мостов.



---

## 2. ИСПЫТАНИЯ ПОДВЕСКИ

---

### 2.1. Испытания подвески в сборе

#### *Определение вертикальной упругой характеристики подвески*

Несущая система автомобиля (рама, кузов) с вывешенными колесами жестко закрепляется к основанию стенда. Через диск колеса или прямо к ступице прикладывается вертикальная нагрузка, в диаметральной плоскости диска и замеряется вертикальное перемещение диска или ступицы. Имитируются и прикладываются нагрузки, как на ходе сжатия, так и на ходе отбоя подвески.

Схема стенда для определения вертикальной упругой характеристики подвески представлена на рис. 2.1.

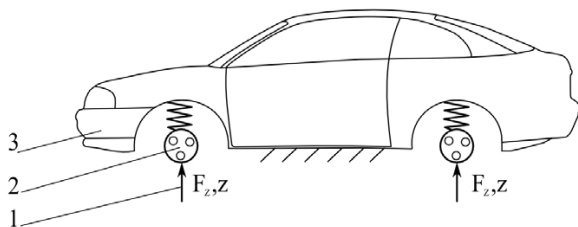


Рис. 2.1. Схема стенда для определения вертикальной упругой характеристики подвески: 1 – нагружающее устройство с датчиком силы и перемещения; 2 – диск колеса или ступица; 3 – несущая система

Для приработки элементов подвески автомобиля перед проведением измерений к диску колеса или ступице прикладывается циклическое нагружение с числом циклов и амплитудой оговоренной методикой поведения испытаний.

При проведении измерений вертикальное усилие изменяется так медленно, чтобы демпфирование в амортизаторе не влияло на упругую характеристику подвески. По результатам измерений строится зависимость деформации подвески  $Z$  от прикладываемого усилия  $F_z$  (рис. 2.2) с учетом сжатия и буфера отбоя и буфера сжатия, определяется вертикальная упругая характеристика подвески и сравнивается с заданной в конструкторской документации.

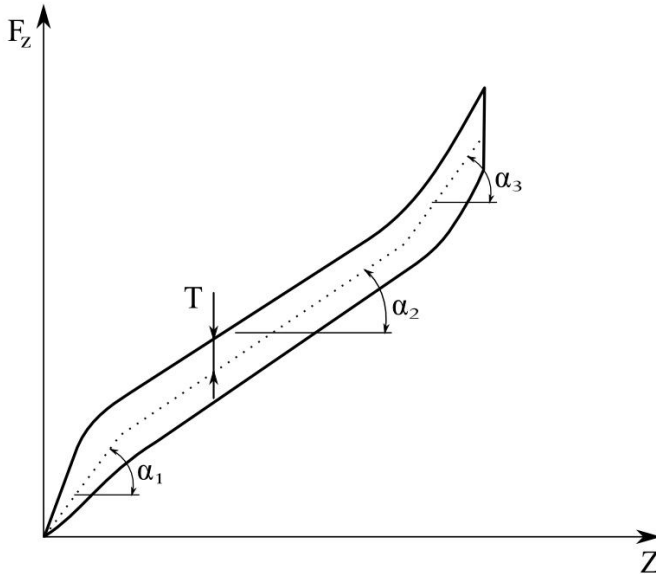


Рис. 2.2. Зависимость деформации подвески от вертикальной нагрузки:  
1 – вертикальная упругая характеристика подвески

Эта же зависимость (рис. 2.2) позволяет определять трение в подвеске при ее вертикальном ходе  $T$ , вертикальную жесткость подвески при упоре в буфер отбоя  $C_1 = \text{tg } \alpha_1$ , вертикальную жесткость подвески  $C_2 = \text{tg } \alpha_2$ , вертикальную жесткость подвески при упоре в буфер сжатия  $C_3 = \text{tg } \alpha_3$ .

#### ***Определение кинематики подвески***

В данном случае под кинематикой подвески понимается зависимость развала, схождения колес одной оси от их вертикального перемещения относительно несущей системы автомобиля.

Для поведения испытаний автомобиль устанавливается на горизонтальной площадке, оснащается датчиками развала, схождения, вертикального перемещения колес. За нулевое значение вертикального перемещения колес принимается положение оси вращения колес относительно несущей системы автомобиля полной (или снаряженной) массой покоящегося на горизонтальной площадке.

Перед проведением испытаний к автомобилю прикладывают вертикальные качающие нагрузки для приработки элементов подвески. Амплитуда и число колебаний определяются методикой проведения испытаний.

К несущей системе автомобиля прикладывается пошагово усилие  $F_{z1}$  прижимающее (рис. 2.3) автомобиль к опорной площадке. При каждом значении прижимающего усилия определяется вертикальное перемещение колеса относительно несущей системы, развал, схождение колес.

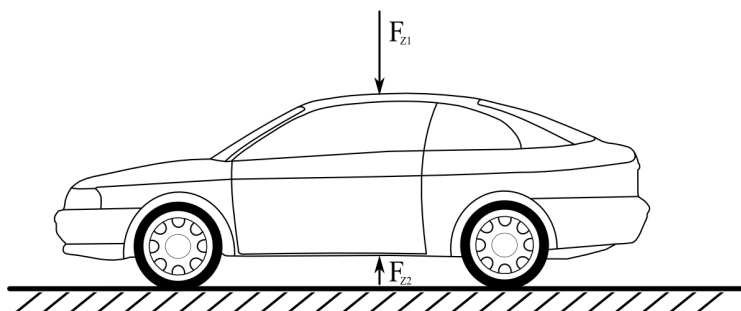


Рис. 2.3. Определение кинематики подвески

После достижения определенного методикой прижимающего усилия или упора в буфер сжатия прижимающая сила  $F_{z1}$  пошагово уменьшается с замером перемещения, схождения, развала колес. После снятия прижимающей силы  $F_{z1}$  к автомобилю прикладывается пошагово приподнимающая сила  $F_{z2}$  (рис. 2.3) с проведением замеров перемещения колес, развала, схождения. После отрыва колес от опорной поверхности приподнимающая сила  $F_{z2}$  изменяется, опуская автомобиль также с проведением замеров. Прижатие и приподнятие

автомобиля с проведением соответствующих замеров проводится минимум трижды.

По результатам испытаний строится зависимость развала  $R$ , схождения колес  $S$  от их вертикального перемещения  $z$ . Пример зависимости развала и схождения колес одной оси от их вертикального перемещения приведен на рис. 2.4.

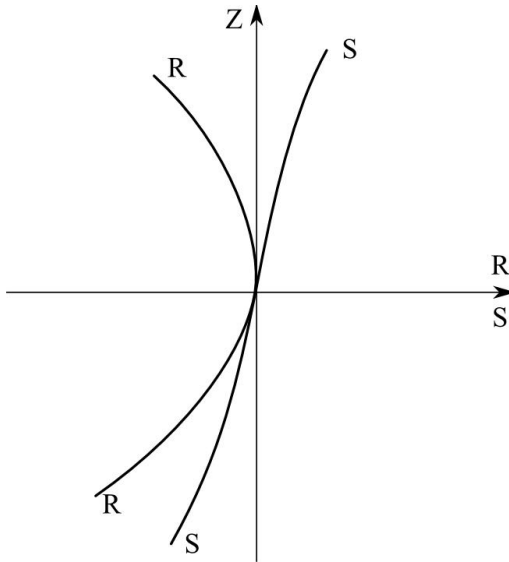


Рис. 2.4. Пример зависимости развала  $R$  и схождения  $S$  колес одной оси от их вертикального перемещения  $z$

### ***Испытание подвески на долговечность***

Для испытания подвески на долговечность ее закрепляют на стенде геометрически, так же как и на автомобиле (рис. 2.5).

При испытании применяется имитатор колеса 2 передающий на ступицу колеса нагрузки от гидроцилиндров 4, 5, 6. Ступица колеса блокируется от проворачивания, то есть гидроцилиндр 6 (рис. 2.5) создающий продольную нагрузку не проворачивает колесо, а создает изгибающую и скручивающую нагрузку на подвеску.

Перед проведением испытаний определяют упругую характеристику упругого элемента, рабочую диаграмму и рабочую характеристику демпфирующего элемента.

Нагрузочные режимы формируются по результатам режимометрирования подвески на дороге при разных типах дорожного покрытия, весовых и скоростных условиях.

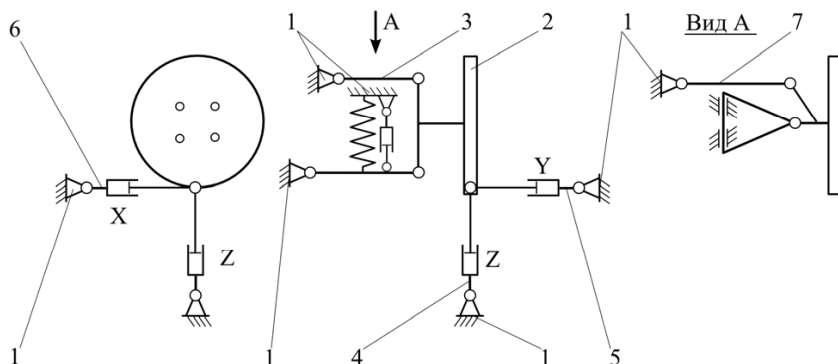


Рис. 2.5. Схема стэнда для испытания подвески на долговечность:  
 1 – несущая конструкция стэнда; 2 – имитатор колеса; 3 – подвеска в сборе; 4 – гидроцилиндр создающий вертикальную нагрузку;  
 5 – гидроцилиндр создающий боковую нагрузку; 6 – гидроцилиндр создающий продольную нагрузку; 7 – рулевая тяга

В соответствии с методикой проведения испытаний к имитатору колеса прикладываются вертикальные, боковые, продольные нагрузки. Число циклов нагружения и сами нагрузки задаются программой испытаний. Испытания подвески на долговечность проводят до наступления заданного числа циклов нагружения или до потери работоспособности какого-либо элемента подвески.

Методикой проведения испытаний может допускаться замена в процессе испытаний на долговечность каких-либо элементов подвески, потерявших работоспособность, к примеру, сайлент-блоков.

После завершения испытаний определяют упругую характеристику упругого элемента, рабочую диаграмму и рабочую характеристику демфирующего элемента и сравнивают с приведенными в конструкторской документации.

## 2.2. Испытания упругого элемента

### Определение характеристики упругости

В качестве упругого элемента подвески автомобилей применяют рессору, пружину, пневмокамеру, гидропневмоэлемент, торсион и др. При существенной разнице конструкции упругих элементов, методика определения их упругой характеристики одинакова – определяется зависимость деформации упругого элемента от приложенной нагрузки. Перед проведением испытаний по определению характеристики упругости упругий элемент подвергается циклическому нагружению растяжение – сжатие. Амплитуда деформаций и число циклов нагружения задаются в программе испытаний. Принципиальная схема стенда для определения упругой характеристики представлена на рис. 2.6.

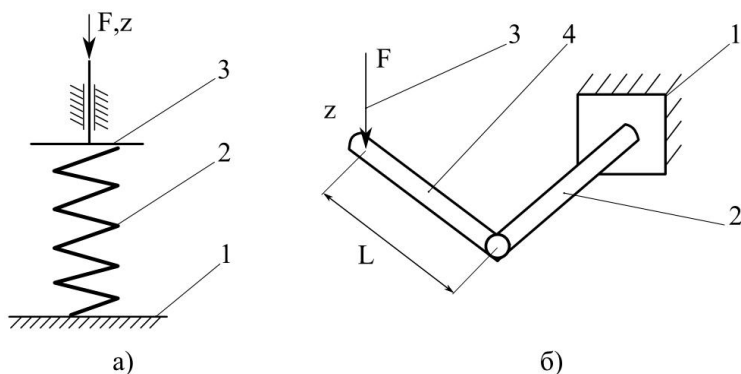


Рис. 2.6. Принципиальная схема стенда для определения упругой характеристики: а) пружины, рессоры, пневмокамеры, гидропневмоэлемента; б) торсиона; 1 – основание стенда; 2 – упругий элемент; 3 – нагружающее устройство; 4 – рычаг

В качестве нагружающего устройства могут применяться: подвес с грузами известной массы, гидроцилиндр двустороннего действия, электромеханический привод.

По конструкторской документации определяется максимальная деформация упругого элемента. Нагружающее устройство прикладывает известную нагрузку, измеряется деформация. Записывается на регистрирующее устройство нагрузка и деформация.

После достижения максимальной деформации, нагрузка уменьшается до нуля. Число повторений цикла нагружения – разгрузки задается в программе испытаний. Строится зависимость деформации от приложенной нагрузки – характеристика упругости (рис. 2.7).

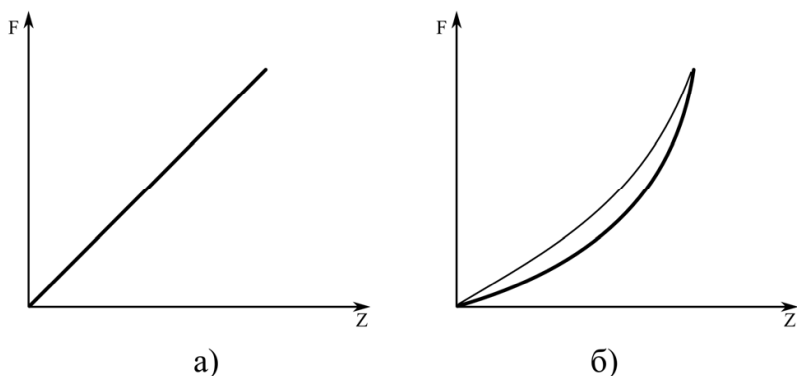


Рис. 2.7. Пример характеристик упругости:  
а) цилиндрической пружины с постоянным диаметром прутка и постоянным диаметром навивки; б) рессоры

При необходимости определяется численное значение жесткости пружины, к примеру, цилиндрической с постоянным диаметром прутка, постоянным диаметром навивки; или математическая зависимость жесткости от деформации, к примеру, для конической пружины. Определяются потери на трение, к примеру, между листами рессоры.

#### ***Испытание упругого элемента на долговечность***

При стендовых испытаниях упругого элемента подвески на долговечность возможны, по крайней мере, два варианта его установки и нагружения:

- упругий элемент, к примеру, пружина, устанавливается вертикально, и нагрузка прикладывается вдоль оси пружины (рис. 2.8);
- установка и приложение нагрузки полностью имитирует установку и нагружение на автомобиле, возможно с использованием элементов несущей системы автомобиля, направляющего устройства подвески (рис. 2.9).

Во втором случае нагрузки воспринимаемые упругим элементом более соответствуют реальным на автомобиле. В обоих случаях применяются стенды с гидравлическим или электромеханическим нагружаю-

щим устройством. Нагрузочные режимы определяются по результатам режимометрирования подвески на дороге при разных типах дорожного покрытия, весовых, скоростных условиях; для пневматических, гидропневматических упругих элементов и температурных условиях.

Принципиальная схема стэнда для испытания упругого элемента (к примеру, пружины) на долговечность представлена на рис. 2.8.

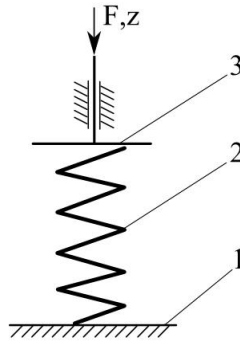


Рис. 2.8. Принципиальная схема стэнда для испытания упругого элемента (к примеру, пружины) на долговечность: 1 – основание стэнда; 2 – упругий элемент; 3 – нагружающее устройство

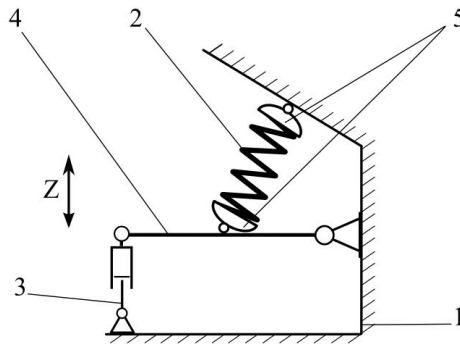


Рис. 2.9. Схема стэнда полностью имитирующего установку и нагружение упругого элемента (к примеру, пружины) на автомобиле для испытания на долговечность: 1 – основание стэнда; 2 – упругий элемент; 3 – нагружающее устройство; 4 – рычаг подвески; 5 – опорные чашки пружины



Такие стенды (рис. 2.8) наиболее универсальны и требуют дополнительную оснастку только для закрепления упругого элемента.

Схема стенда полностью имитирующего установку и нагружение упругого элемента (к примеру, пружины) на автомобиле для испытания на долговечность представлена на рис. 2.9.

Программой испытаний задается число испытаний для различных деформаций упругого элемента (рис. 2.8) или хода  $z$  рычага подвески (рис. 2.9). Перед проведением испытаний определяется упругая характеристика упругого элемента.

Испытания считаются оконченными, если упругий элемент потерял работоспособность или выполнена вся программа испытаний.

Если испытания завершились успешно определяется упругая характеристика упругого элемента и сравнивается с определенной до испытаний и заданной в конструкторской документации.

### **2.3. Испытания демпфирующего элемента**

#### ***Определение характеристик амортизатора***

У амортизатора определяют рабочую диаграмму и рабочую характеристику.

*Рабочая диаграмма* — зависимость создаваемой амортизатором при растяжении, сжатии силы сопротивления от хода поршня амортизатора при постоянной скорости перемещения.

*Рабочая характеристика* — зависимость создаваемой амортизатором при растяжении сжатии силы сопротивления от скорости перемещения поршня амортизатора.

Перед проведением испытаний по определению характеристик амортизатора подвергается обкатке — циклическому нагружению растяжение — сжатие. Амплитуда, скорость перемещения поршня и число циклов нагружения задаются в программе испытаний. Принципиальная схема стенда для определения характеристик амортизатора представлена на рис. 2.10.

В качестве нагружающего устройства могут применяться: гидроцилиндр двустороннего действия, электромеханический привод. При определении рабочей диаграммы нагружающее устройство с постоянной скоростью вталкивает, затем вытягивает до упора в ограничители штоков

амортизатора. Записываются на регистрирующее устройство: нагрузка, скорость и перемещение поршня, температура рабочего тела (жидкости, газа). Число повторений цикла сжатие-отбой определяется программой испытаний. Строится зависимость силы сопротивления от хода поршня при постоянной скорости поршня и данной температуре рабочего тела (рис. 2.11) – рабочая диаграмма.

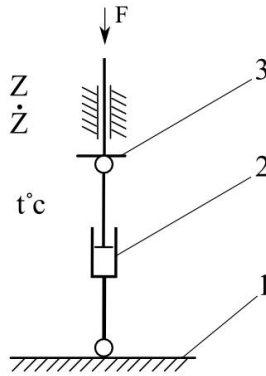


Рис. 2.10. Принципиальная схема стенда для определения характеристик амортизатора: 1 – основание стенда; 2 – амортизатор; 3 – нагружающее устройство

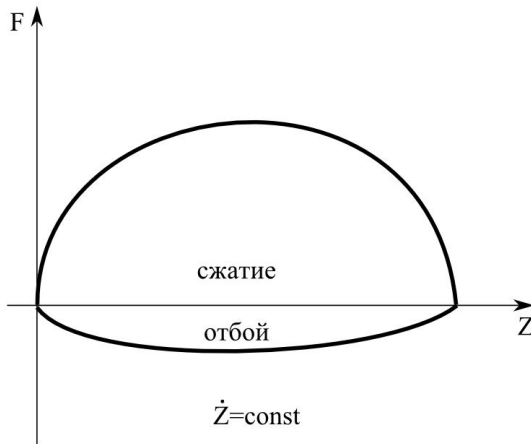


Рис. 2.11. Пример рабочей диаграммы амортизатора

Площадь фигуры на рис. 2.11 между кривыми отбой-сжатие равна работе по дросселированию рабочего тела (жидкость, газ) амортизатора за полный цикл ходов отбой-сжатие при определенной скорости перемещения поршня и температуре рабочего тела.

Характер кривых на рабочей диаграмме позволяет оценить работоспособность амортизатора на ходе сжатия или отбоя и при изменении направления перемещения поршня.

При определении рабочей характеристики нагружающее устройство с постоянной скоростью вталкивает, вытягивает до упора в ограничители штока амортизатора. От цикла к циклу увеличивается скорость перемещения поршня. Записываются на регистрирующее устройство нагрузка, скорость и перемещение поршня. Число повторений цикла сжатие-отбой на каждой скорости перемещения поршня, верхняя граница и шаг изменения скорости перемещения поршня определяются программой испытаний.

Пример рабочей характеристики амортизатора – зависимость силы сопротивления от скорости перемещения штока при определенной температуре рабочего тела представлена на рис. 2.12.

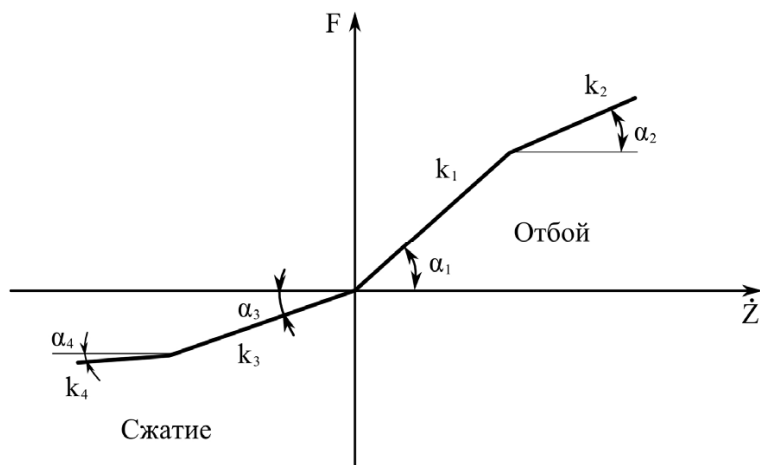


Рис. 2.12. Пример рабочей характеристики амортизатора

По рабочей характеристике можно определить коэффициент демпфирования  $K$  амортизатора на соответствующих ходах.

$$K_1 = \operatorname{tg}\alpha_1 \frac{H \cdot c}{M}, \quad K_2 = \operatorname{tg}\alpha_2 \frac{H \cdot c}{M}, \quad K_3 = \operatorname{tg}\alpha_3 \frac{H \cdot c}{M}, \quad K_4 = \operatorname{tg}\alpha_4 \frac{H \cdot c}{M}.$$

Получившуюся рабочую характеристику сравнивают с заданной в конструкторской документации.

### *Испытание амортизатора на долговечность*

При испытании амортизатора на долговечность он, как правило, устанавливается на стенде пространственно так же, как и на автомобиле. Применяются стенды с гидравлическим или электрическим нагружающим устройством. Нагрузочные режимы определяются по результатам режимометрирования подвески на дороге при разных типах дорожного покрытия, весовых, скоростных, температурных условиях.

Принципиальная схема стенда для испытания амортизатора на долговечность представлена на рис. 2.13.

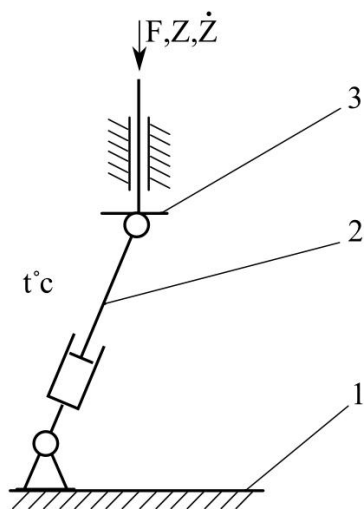


Рис. 2.13. Принципиальная схема стенда для испытания амортизатора на долговечность: 1 – основание стенда; 2 – амортизатор; 3 – нагружающее устройство

Перед проведением испытаний определяются рабочая диаграмма и рабочая характеристика амортизатора.

Программой испытаний задаются массив скоростей перемещения поршня, массив ходов поршня, массив температур рабочего тела

амортизатора, их возможные сочетания, число циклов испытаний для каждого сочетания.

Испытания считаются оконченными, если амортизатор потерял работоспособность, или выполнена вся программа испытаний. Если испытания завершились успешно определяются рабочая диаграмма, рабочая характеристика амортизатора и сравниваются с заданными в конструкторской документации

## **2.4. Испытания опор, шарниров**

### *Испытания верхней опоры подвески Мак-Ферсон*

Испытания проводят для определения осевой и боковой жесткости опоры, оценки ее долговечности.

Верхняя опора предназначена для передачи вертикальной, продольной, боковой и скручивающей вокруг продольной оси нагрузок от подвески на кузов автомобиля. Опора должна иметь малую жесткость в вертикальном направлении (относительно кузова автомобиля) для дальнейшего после подвески снижения нагрузок передаваемых от дороги на кузов, но в продольном и боковом направлениях должна иметь достаточную жесткость, чтобы не вызывать больших изменений в кинематике подвески при торможении и движении в повороте.

Принципиальная схема стенда для определения вертикальной и боковой жесткостей опоры представлена на рис. 2.14.

Перед проведением измерений к опоре прикладываются вертикальные, боковые нагрузки с амплитудой и числом циклов определяемых программой испытаний.

При проведении испытаний к опоре прикладывается и записывается усилие в вертикальном направлении (рис. 2.14,*а*) в боковом направлении (рис. 2.14,*б*) и перемещение штока нагружающего устройства 4 (деформация упругого элемента верхней опоры подвески) относительно опоры стенда 2. Испытания выполняются минимум трижды. По зависимости деформации от прикладываемого усилия рассчитывается вертикальная или боковая жесткость верхней опоры подвески и сравнивается с заданной в конструкторской документации. Проверяется также наличие или отсутствие порывов и отслоений в резинометаллических опорах от действия статической нагрузки.

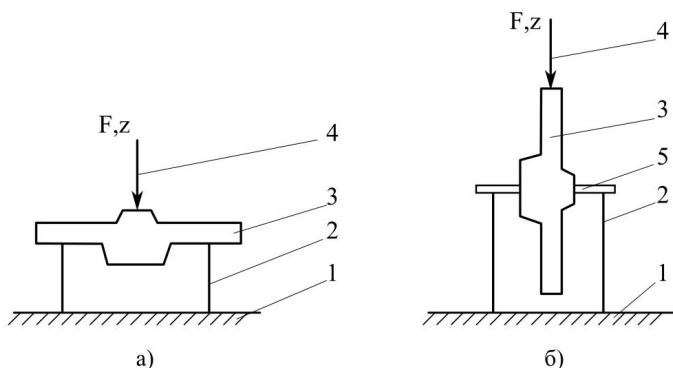


Рис. 2.14. Принципиальная схема стенда для определения вертикальной (а) и боковой (б) жесткости верхней опоры подвески Мак-Ферсон: 1 – рабочий стол; 2 – опора стенда; 3 – испытуемая верхняя опора подвески; 4 – нагружающее устройство с датчиком силы и перемещения; 5 – ось

Испытания на циклическую долговечность верхней опоры могут проводиться как с последовательным испытанием на вертикальные, затем боковые циклические нагрузки, так и с одновременным приложением вертикальных и боковых циклических нагрузок. Конструкция стенда в последнем случае усложняется, но более достоверно имитируются реальные нагрузки, при которых работает верхняя опора подвески на автомобиле.

Испытания на циклическую долговечность верхней опоры подвески проводят до наступления заданного числа циклов испытаний или до потери ею работоспособности.

Перед и после проведения испытания верхней опоры на циклическую долговечность определяется ее вертикальная и боковая жесткость и сравнивается с заданной в конструкторской документации.

### ***Испытания резинометаллического шарнира***

Для резинометаллических шарниров определяют упруго-диссипативные характеристики от действия радиальных, осевых нагрузок и скручивающего момента, усилие выпрессовки шарнира из обоймы, циклическую долговечность.

При определении упруго-диссипативной характеристики шарнир устанавливают в ответную деталь подвески или обойму от этой детали. Обойма закрепляется на стенде (рис. 2.15).

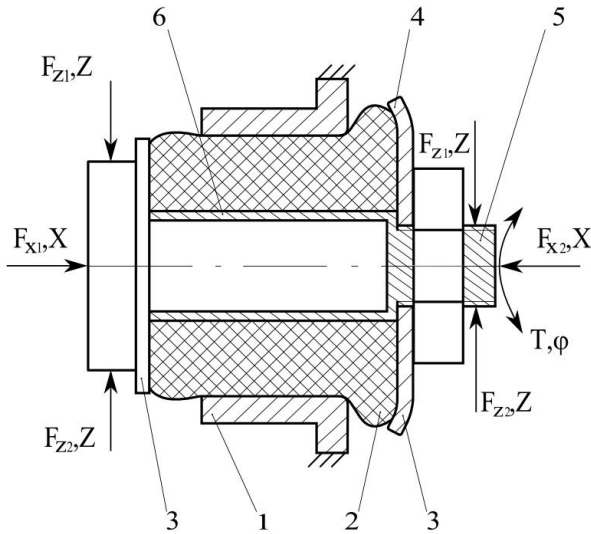


Рис. 2.15. Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативных характеристик резинометаллического шарнира:

- 1 – ответная деталь (обойма) подвески, закрепленная на стенде;
- 2 – резиновый элемент шарнира; 3 – упорная шайба шарнира; 4 – гайка;
- 5 – имитатор оси рычага подвески; 6 – внутренняя втулка шарнира

Перед определением упруго-диссипативной характеристики шарнир циклически нагружается в соответствующем направлении. Амплитуда и число циклов нагружения задаются программой испытаний.

Последовательно прикладывая осевые, радиальные, скручивающие нагрузки строят зависимость осевой деформации  $X$  от действия осевых нагрузок  $F_{x1}$  и  $F_{x2}$ , радиальной деформации  $Y$  от действия радиальных нагрузок  $F_{y1}$  и  $F_{y2}$ , тангенциальной деформации  $\varphi$  от действия скручивающего момента  $T$  (как в одну, так и в другую стороны). Каждое испытание проводят минимум трижды. Пример зависимости деформации шарнира от приложенной знакопеременной нагрузки приведен на рис. 2.16.

Полученные зависимости «деформация-нагрузка» сравнивают с заданными в конструкторской документации.

Для определения усилия выпрессовки шарнира из обоймы, шарнир устанавливают в ответную деталь подвески или в обойму от этой детали. Обойма закрепляется на стенде (рис. 2.17).

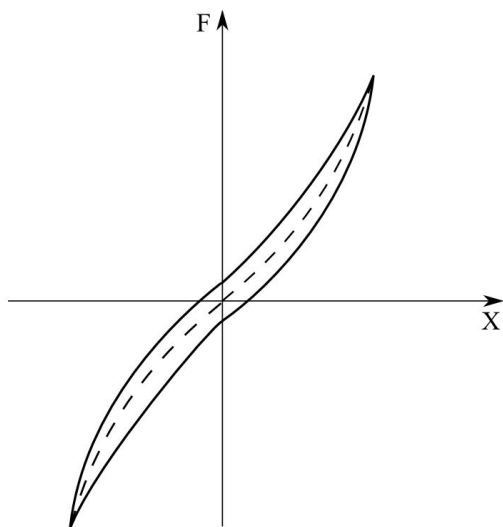


Рис. 2.16. Пример зависимости деформации шарнира от действия знакопеременной нагрузки (пунктиром обозначена средняя линия)

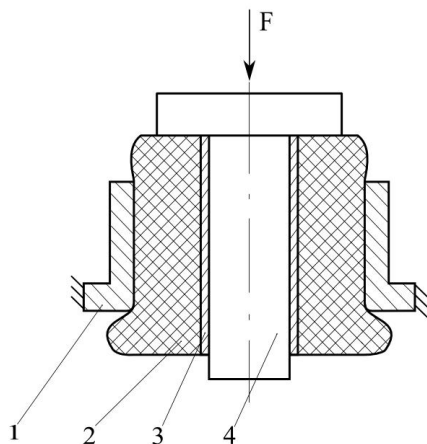


Рис. 2.17. Принципиальная схема стенда для определения усилия выпрессовки шарнира из обоймы: 1 – ответная деталь подвески (обойма), закрепленная на стенде; 2 – резиновый элемент; 3 – внутренняя втулка шарнира; 4 – имитатор оси рычага подвески



Прикладываемая осевая нагрузка  $F$  увеличивается до тех пор, пока резиновый элемент шарнира не выдавится из обоймы. Эксперимент повторяется минимум для трех шарниров. При проведении этого испытания возможен отрыв элемента, разрыв резинового элемента. Усилия, при которых произошли эти события, сравниваются с указанными в конструкторской документации.

Испытания на циклическую долговечность возможны при одновременном или поочередном приложении осевой, радиальной и тангенциальной нагрузок.

Одновременное приложение нагрузок ближе к реальному нагружению шарниров при эксплуатации автомобиля. При последовательном приложении нагрузок проще конструкция стенда.

Число циклов, амплитуды, частоты нагружения определяют по результатам режимометрирования подвески в дорожных условиях.

Через определенное методикой испытаний число циклов нагружения определяются упруго-диссипативные характеристики шарнира при осевом, радиальном и тангенциальном нагружениях и сравниваются с заданными в конструкторской документации.

Шарнир считается выдержавшим испытания, если после завершения всего цикла нагружений не произошло его разрушения, отрыва внутренней втулки от резинового элемента.

### ***Испытания буферов сжатия, отбоя***

Испытания буферов сжатия, отбоя включают определение упруго-диссипативной характеристики, испытания на циклическую долговечность. При определении упруго-диссипативной характеристики буфера его установка и установка ответных сопрягаемых деталей на стенде должны соответствовать установке на автомобиле. Перед определением упругой характеристики буфер подвергается циклическому нагружению с числом циклов и амплитудой, заданными методикой проведения испытаний. Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики буфера отбоя представлена на рис. 2.18 (на примере буфера отбоя двухрычажной независимой подвески с поперечными рычагами)

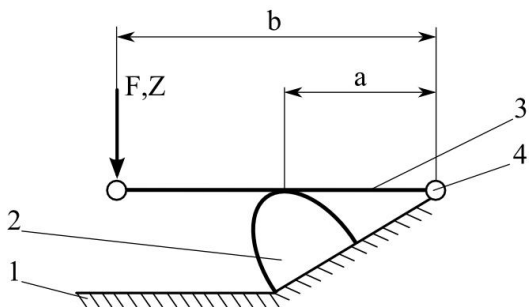


Рис. 2.18. Принципиальная схема стенда для определения упруго-диссипативной характеристики буфера отбоя подвески (на примере буфера отбоя двухрычажной независимой подвески с поперечными рычагами): 1 – элемент несущей системы кузова, закрепленный на стенде; 2 – испытуемый буфер отбоя; 3 – ответная деталь подвески (верхний рычаг); 4 – шарнирное соединение;  $a$ ) расстояние от оси шарнирного соединения до центра пятна контакта буфера с ответной деталью подвески;  $b$ ) расстояние от оси шарнирного соединения до линии приложения силы  $F$

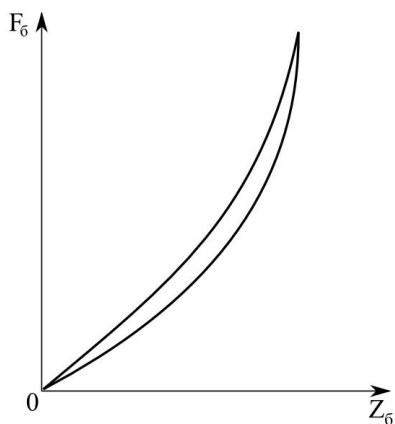


Рис. 2.19. Зависимость деформации буфера от приложенного к нему усилия

К ответной части (рычагу подвески) прикладывается усилие  $F$  и замеряется перемещение  $Z$ . Усилие прикладывается постепенно вплоть до максимального, оговоренного в методике проведения испытаний. Затем усилие постепенно снимается, вплоть до нулевого усилия. Испытания повторяются минимум трижды. Строится зависимость деформации буфера  $Z_6$  от приложенного усилия  $F_6$  (рис. 2.19).

$$\therefore F_0 = \frac{F \cdot b}{a}, \quad Z_0 = \frac{Z \cdot a}{b}.$$

Полученная зависимость сравнивается с заданной в конструкторской документации. Испытания буфера подвески на циклическую долговечность проводят на стендах с электромеханическим или гидравлическим приводом. Перед проведением испытаний определяют упругую характеристику буфера.

Число циклов, амплитуда, частота нагружения задаются в соответствии с результатами дорожных испытаний.

Через определенное методикой испытаний число циклов нагружения определяется упруго-диссипативная характеристика буфера и сравнивается с заданной в конструкторской документации.

Буфер считается выдержавшим испытания, если после завершения всего цикла нагружения не произошло его разрушения.

### ***Испытания шарового шарнира***

Шаровый шарнир – один из самых сложно нагруженных элементов направляющего устройства подвески. Шаровые шарниры испытывают как в сборе, так и шаровые пальцы отдельно.

Проводят испытания полнокомплектного шарового шарнира на вырыв пальца, циклическую долговечность шарнира и износостойкость пар трения.

При испытании шарнира на вырыв пальца к пальцу шарового шарнира установленного в оснастке на стенде (рис. 2.20) прикладывается осевое усилие  $F$  вырывающее палец из корпуса. Максимальное усилие вырывания  $F$  указывается в конструкторской документации и определяется по результатам режимометрирования подвески в дорожных испытаниях.

Испытания проводятся минимум на трех образцах. Могут проводиться испытания, как новых шарниров, так и прошедших испытания на циклическую долговечность. Шарнир считается прошедшим испытания, если при заданном максимальном усилии  $F$  не происходит вырывания пальца.

Испытания шарового шарнира на циклическую долговечность проводят на стенде позволяющем реализовать сложную систему нагружения пальца относительно корпуса шарнира:

- знакопеременное осевое усилие  $F_z$ ;
- знакопеременное боковое усилие  $F_y$ ;
- вращательные колебания вокруг вертикальной оси  $\varphi$ ;
- качание относительно корпуса  $\gamma$ .

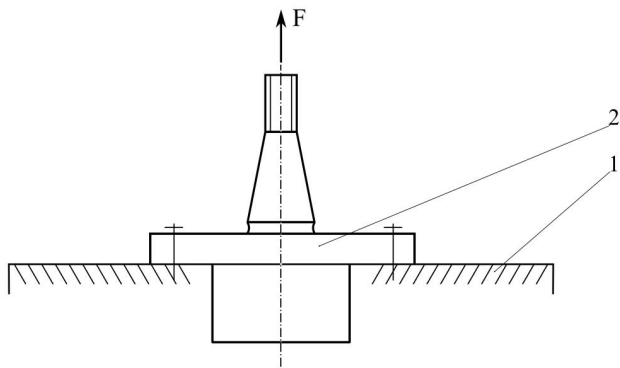


Рис. 2.20. Принципиальная схема стенда для испытания шарового шарнира на вырывание пальца: 1 – оснастка стенда; 2 – испытуемый шаровой шарнир

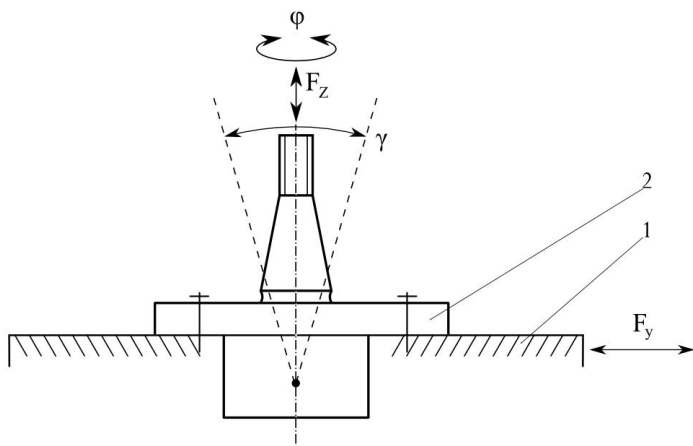


Рис. 2.21. Принципиальная схема стенда для испытания шарового шарнира на циклическую долговечность: 1 – оснастка стенда; 2 – испытуемый шарнир

Значения нагрузок и число циклов их приложения определяются по результатам режимометрирования подвески в дорожных условиях и задаются в программе испытаний.

Принципиальная схема стенда для испытания шарового шарнира на циклическую долговечность представлена на рис. 2.21.

Перед проведением испытаний и в процессе проведения испытаний замеряются осевые и боковые перемещения пальца относительно корпуса.

Если не произошло разрушение шарнира в процессе испытаний, то после выполнения всего объема испытаний замеряются осевое и боковое перемещение пальца относительно корпуса, эти параметры не должны превышать значений указанных в конструкторской документации.

Отдельно палец шарового шарнира испытывается в частности на циклическую долговечность при изгибе. Палец закрепляется в ответной детали подвески установленной на стенде и к шару пальца прикладывается знакопеременное изгибающее нагружение. Спектр амплитуд и частот изгибающего усилия определяются по результатам режимометрирования подвески в дорожных условиях и задаются в программе испытаний. Если и палец не разрушился, то он считается прошедшим испытания на циклическую долговечность.

## **2.5. Испытания направляющего устройства подвески**

В основном направляющее устройство испытывается на циклическую долговечность, как в составе подвески (п. 2.1), так по отдельным узлам (п. 2.4) и деталям. Так, к примеру, на циклическую долговечность испытывается нижний рычаг независимой двухрычажной подвески передающей вертикальную, продольную, боковую нагрузки. Принципиальная схема стенда для испытания нижнего рычага двухрычажной подвески на циклическую долговечность от действия вертикальных нагрузок представлена на рис. 2.22.

На стенде воссоздаются изгибные нагрузки на рычаг. Нагрузочные режимы задаются в соответствии с результатами режимометрирования подвески в дорожных условиях. В качестве шарнира 3 передающего нагрузку от гидроцилиндра на рычаг подвески может использоваться штатный шаровой шарнир. Рычаг подвески считает-

ся прошедшим испытания на циклическую долговечность, если он не сломался в процессе испытаний, не имеет трещин после завершения всего цикла испытаний.

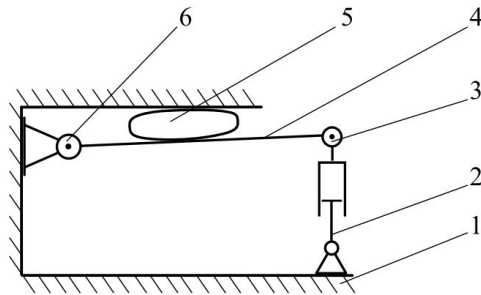


Рис. 2.22. Принципиальная схема стенда для испытания нижнего рычага двухрычажной подвески на циклическую долговечность от действия вертикальных нагрузок: 1 – несущая система стенда; 2 – нагружающее устройство; 3 – шарнир, передающий нагрузку от гидроцилиндра на рычаг подвески; 4 – испытуемый рычаг подвески; 5 – торцовый резиновый элемент, имитирующий пружину подвески; 6 – штатные резинометаллические шарниры

Одновременно проходят испытания и штатные резинометаллические шарниры (сайлентблоки). Если в процессе испытаний шарниры теряют работоспособность, то они заменяются.

## 2.6. Дорожные испытания подвески

В дорожных условиях оцениваются шумность и виброактивность подвески, отсутствие стуков при ее работе в различных дорожных и скоростных условиях. Оценивается способность гасить вертикальные колебания автомобиля при переезде неровности.

Ресурсные испытания подвески проводят, как правило, на дорогах с булыжным и разбитым булыжным замощением. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка подвески до деталей, их осмотр,

дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии подвески предъявляемым требованиям.

Режимометрирование подвески проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании подвески могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- скорость автомобиля;
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- ход ступицы колеса относительно несущей системы (по крайней мере для одного колеса каждой оси);
- перемещение штока амортизатора относительно его корпуса;
- температура рабочего тела амортизатора;
- механические напряжения в элементах направляющего устройства и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании подвески. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний подвески.

---

## **3. ИСПЫТАНИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ**

---

Рулевое управление относится к агрегатам и системам, обеспечивающим активную безопасность автомобиля. Рулевое управление включает: рулевое колесо, рулевую колонку, рулевой вал, рулевой механизм, рулевой привод, усилитель рулевого управления. Могут проводиться испытания как всего рулевого управления в сборе с сопрягаемыми элементами кузова, подвесок, ступиц колес так и отдельно по каждому из вышеперечисленных узлов.

### **3.1. Определение усилия на рулевом колесе**

При различных эксплуатационных ситуациях к рулевому колесу прикладываются существенно разные усилия для поворота управляемых колес или удержания их от поворота. Сравнительно небольшие усилия для поворота управляемых колес при движении автомобиля и очень большие при повороте управляемых колес на месте, при отжимании управляемых колес от бордюра неподвижного автомобиля и другие.

Для определения усилия, прикладываемого к рулевому колесу в различных эксплуатационных ситуациях, на автомобиль вместо штатного рулевого колеса устанавливается рулевое колесо с тензоступицей.

Если автомобиль оснащен усилителем рулевого управления, то предварительно прогретый двигатель работает на номинальных оборотах холостого хода.

Перед проведением испытаний автомобиль проходит обкатку, а в день проведения испытаний – прогревочный пробег.

Замеряется и регистрируется крутящий момент, передаваемый через рулевое колесо и угол его поворота, скорость движения автомобиля.

Испытания проходят в несколько этапов. Для оценки усилия необходимого для поворота управляемых колес неподвижного автомобиля его устанавливают на горизонтальном сухом, чистом участке



асфальтобетонного шоссе. Равномерно поворачивают рулевое колесо в одну сторону до упора, затем в другую сторону до упора, записывают усилие. Перед проведением испытаний проверяют состояние шин, давление в них. Автомобиль должен быть укомплектован шинами, заявленными в заводской инструкции по эксплуатации, если иное не оговорено в программе испытаний.

Определение усилия на рулевом колесе при движении автомобиля выполняют на специальной асфальтобетонной, горизонтальной, ровной площадке. Автомобиль равномерно движется по заданной траектории, рулевое колесо плавно поворачивается в одну сторону до упора, затем в другую сторону до упора.

Усилие, прикладываемое к рулевому колесу при повороте управляемых колес как неподвижного, так и движущегося автомобиля сравнивается с заданными в конструкторской и нормативной документации.

Если автомобиль оснащен усилителем рулевого управления, то определение усилия прикладываемого к рулевому колесу для поворота управляемых колес как неподвижного, так и движущегося автомобиля проводится как с работающим, так и не работающим усилителем.

Для определения усилия прилагаемого к рулевому колесу при отжимании управляемых колес от бордюра автомобиль притирают передними и задними колесами к бордюру стороной автомобиля дальней от водителя. Автомобиль может быть зафиксирован стояночной тормозной системой. Поворачивают рулевое колесо в сторону отъезда от бордюра. Записывают усилие. Эти данные используются при прочностном расчете рулевого управления аналогичных автомобилей, испытании на статическую прочность, имитационном моделировании пиковых нагрузок в рулевом управлении.

### **3.2. Определение передаточного отношения рулевого управления**

#### *Кинематическое передаточное отношение*

Для проведения испытаний автомобиль полной массой, прошедший предварительную обкатку, а непосредственно перед измерениями – прогревочный пробег, устанавливается на поворотные круги

с датчиками углов поворота. На рулевое колесо устанавливается датчик угла поворота. Если автомобиль оснащен усилителем в рулевом управлении, испытания проходят с работающим на оборотах холостого хода двигателем. Рулевое колесо минимум трижды поворачивается от упора влево до упора вправо. Данные записанные при повороте рулевого колеса от среднего положения до первого упора в расчет не принимаются. Для каждого угла поворота рулевого колеса  $\varphi_{\text{ркі}}$  определяется полусумма углов поворота управляемых колес  $\varphi_{\text{ук}} = f(\varphi_{\text{ркі}})$ .

Строится зависимость полусуммы углов поворота управляемых колес  $\varphi_{\text{ук}}$  от угла поворота рулевого колеса  $\varphi_{\text{ркі}}$  (рис. 3.1).

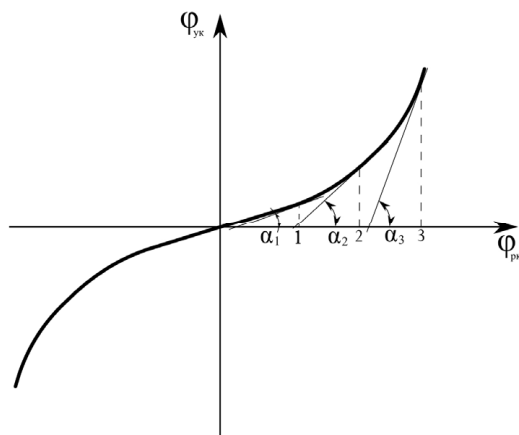


Рис. 3.1. Пример зависимости полусуммы углов поворота управляемых колес от угла поворота рулевого колеса

У современных автомобилей зависимость полусуммы углов поворота управляемых колес от угла поворота рулевого колеса нелинейная. Для определения передаточного отношения рулевого управления на графике (рис. 3.1) через равные промежутки угла поворота рулевого колеса  $\varphi_{\text{ркі}}$ , к примеру, через  $5\text{--}10^\circ$  от линии абсцисс проводятся вертикальные прямые к полученной кривой зависимости полусуммы углов поворота управляемых колес от угла поворота рулевого колеса. В точках пересечения вертикальных линий с кривой  $\varphi_{\text{ук}} = f(\varphi_{\text{ркі}})$  проводится касательная до пересечения с осью абсцисс. Котангенс угла касательной

к оси абсцисс равен передаточному отношению рулевого управления при соответствующем угле поворота рулевого колеса  $U_{py} = \text{ctg } \alpha_i$ .

Строится график зависимости передаточного отношения рулевого управления от угла поворота рулевого колеса (рис. 3.2).

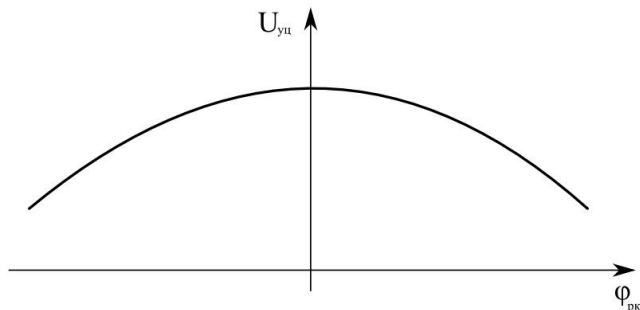


Рис. 3.2. Пример зависимости передаточного отношения рулевого управления от угла поворота рулевого колеса

Полученная зависимость (рис. 3.2) сравнивается с заданной в конструкторской документации. Установка соответствующих датчиков на входе и выходе рулевого механизма позволяет одновременно с передаточным отношением рулевого управления определить кинематическое передаточное отношение рулевого механизма и рулевого привода. Передаточные отношения рулевого управления, рулевого механизма и рулевого привода связаны между собой зависимостью

$$U_{py}(\varphi_{pk}) = U_{pm}(\varphi_{pk}) \cdot U_{pp}(\varphi_{pk}),$$

где  $U_{py}$  — передаточное отношение рулевого управления;  $U_{pm}$  — передаточное отношение рулевого механизма;  $U_{pp}$  — передаточное отношение рулевого привода;  $\varphi_{pk}$  — соответствующий угол поворота рулевого колеса.

### 3.3. Определение жесткости на кручение рулевого управления

Жесткость на кручение рулевого управления, это зависимость угла поворота рулевого колеса от приложенного к нему крутящего момента при заблокированных от поворота ступицах управляемых колес. На зависимость угла поворота рулевого колеса от приложенного к нему

крутящего момента влияет не только жесткость на кручение, растяжение-сжатие, изгиб элементов рулевого управления передающих усилие на управление колеса, но и реакция передка кузова, к примеру, легкового автомобиля на скручивающее нагружение, прогиб задней стенки моторного отсека на котором крепится, к примеру, реечный рулевой механизм, прогиб, к примеру, стойки Мак-Ферсон под действием приложенного к поворотному кулаку усилия и т. д.

Для проведения испытания автомобиль устанавливается на стенде, диски или ступицы колес жестко блокируются от поворота под действием приложенного к рулевому колесу момента. На место штатного рулевого колеса устанавливается специальное рулевое колесо с датчиками крутящего момента и угла поворота. К рулевому колесу прикладывается крутящий момент оговоренный программой испытаний. Испытания проводятся минимум трижды при повороте рулевого колеса в каждую сторону. Строится график зависимости угла поворота рулевого колеса от приложенного к нему крутящего момента (рис. 3.3).

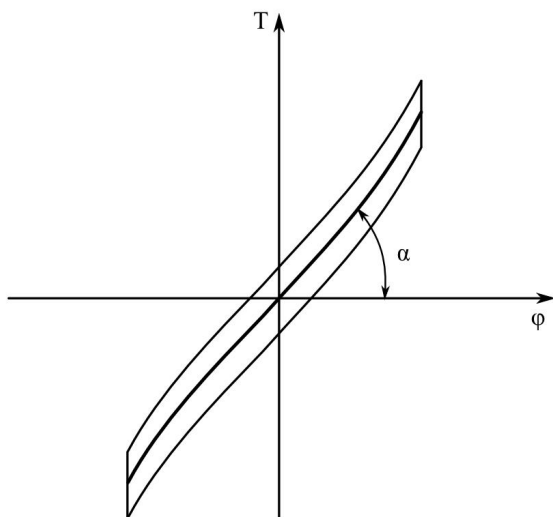


Рис. 3.3. Пример зависимости угла поворота рулевого колеса от приложенного к нему крутящего момента

Жесткость рулевого управления на кручение определится:

$$C_i = \operatorname{tg} \alpha \frac{H \cdot m}{\text{рад}}.$$

Перед проведением испытаний автомобиль проходит обкатку, а непосредственно перед измерениями – прогревочный пробег в объеме, оговоренном программой испытаний. Испытания проходят минимум три автомобиля. Если автомобиль оснащен усилителем рулевого управления, то испытания проводятся как с работающим, так и с неработающим двигателем.

### 3.4. Испытания рулевого колеса

Рулевое колесо испытывают, по крайней мере, на осевое и радиальное биение, статическую прочность и циклическую долговечность.

Для испытания на осевое и радиальное биение рулевое колесо устанавливают на рулевой вал, закрепленный на стенде с возможностью вращения. Не допускается радиальное и осевое биение шлицевой части вала. Принципиальная схема стенда для испытания рулевого колеса на радиальное и осевое биение представлена на рис. 3.4.

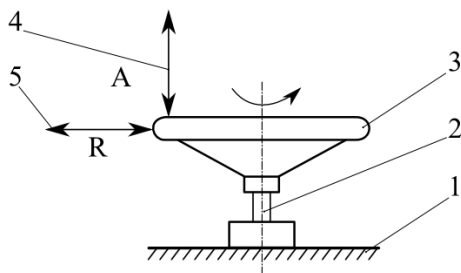


Рис. 3.4. Принципиальная схема стенда для испытания рулевого колеса на радиальное и осевое биение: 1 – основание стенда; 2 – рулевой вал; 3 – испытуемое рулевое колесо; 4 – датчик осевого биения; 5 – датчик радиального биения

На рулевом колесе делают метку, по которой отслеживают поворот колеса на  $360^\circ$ . Испытания проводят минимум трижды для каждого из по крайней мере трех рулевых колес. Результаты испытаний сравни-

ваются с допусками на радиальное и осевое биение из конструкторской документации.

Для проведения испытаний на статическую прочность рулевое колесо устанавливают на рулевой вал, жестко закрепленный на стенде исключающее любое его перемещение.

Поочередно к рулевому колесу прикладываются в определенных методикой испытаний местах нагрузки – изгибные, скручивающие с максимальными значениями определенными программой испытаний. В зонах приложения нагрузок срезается покрытие рулевого колеса до каркаса. После приложения каждой из нагрузок замеряется остаточная деформация и сравнивается с заданной в конструкторской документации. Каждое очередное испытание проводится на новом рулевом колесе. В каждом испытании участвует минимум три рулевых колеса.

При испытании рулевого колеса на циклическую долговечность к рулевому колесу прикладывается знакопеременные осевые и тангенциальные (поворачивающие) нагрузки. Число циклов, амплитуда, частота нагружения определяется программой испытаний. Рулевое колесо считается прошедшим испытания на циклическую долговечность, если после выполнения всего цикла испытаний у него отсутствуют трещины и разрушения каркаса.

### **3.5. Испытание рулевой колонки**

Рулевая колонка включает: верхний вал со шлицами посадки рулевого колеса, подшипники, кронштейн с механизмом вертикальной регулировки рулевого колеса (если есть), механизмом продольной регулировки рулевого колеса (если есть), возможные сопутствующие элементы (замок зажигания, подрулевые переключатели и т. д.).

Рулевые колонки испытывают на статическую прочность и циклическую долговечность. Принципиальная схема стенда для испытания рулевой колонки на статическую прочность представлена на рис. 3.5.

Изгибающая нагрузка прикладывается к рулевому валу в плоскости рулевого колеса в направлении от водителя. При этом фиксируется, как прикладываемая нагрузка, так и деформация рулевой колонки, по крайней мере, в точке приложения нагрузки. Максимальная изгибная нагрузка и соответствующая деформация определяются конструктор-

ской документацией. Если рулевая колонка регулируемая, то регулировки выставляются в положение наиболее усложняющие сопротивление колонки прикладываемому усилию.

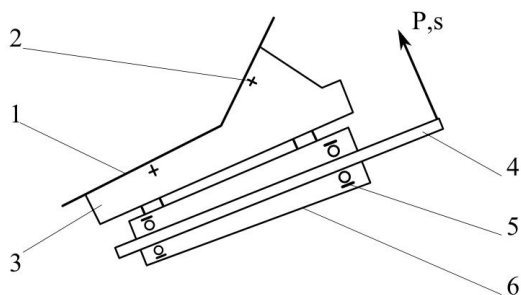


Рис. 3.5. Принципиальная схема стэнда для испытания рулевой колонки без механизмов регулировки положения рулевого колеса на статическую прочность: 1 – основание стэнда; 2 – крепление рулевой колонки к стэнду; 3 – кронштейн; 4 – верхний вал; 5 – подшипники; 6 – труба рулевого вала

Рулевая колонка считается прошедшей испытания на статическую прочность, если она не разрушилась и деформация под действием приложенной нагрузки укладывается в диапазон указанный в конструкторской документации.

Испытания рулевой колонки на циклическую долговечность отличаются от ее испытания на статическую прочность тем, что нагрузка динамическая, знакопеременная и не замеряется деформация рулевой колонки. Нагрузочные режимы: число циклов, амплитуда, частота силового воздействия задаются программой испытаний. Рулевая колонка считается прошедшей испытание, если она не сломалась в процессе испытаний, не нарушилась работоспособность механизмов фиксации регулируемой рулевой колонки, после полного цикла испытаний элементы рулевой колонки не имеют трещин, не деформированы.

### 3.6. Испытания рулевого вала

#### *Определение жесткости на кручение рулевого вала*

Рулевой вал современного автомобиля это сложный механизм, включающий валы; шлицевые соединения, допускающие телескопическое изменение длины рулевого вала; карданные сочленения.

Для шлицевых и карданных сочленений определяют жесткость на кручение или угловую деформацию под действием приложенной нагрузки. Принципиальная схема стенда представлена на рис. 3.6..

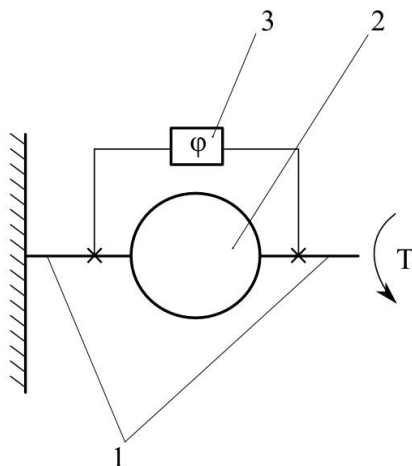


Рис. 3.6. Принципиальная схема стенда для определения жесткости на кручение или угловой деформации элементов рулевого вала: 1 — оснастка стенда; 2 — установка испытуемого изделия; 3 — датчик угла поворота ведущей части относительно ведомой

Испытуемое изделие 2 (рис 3.6) (шлицевое соединение, карданный шарнир) устанавливаются в оснастку 1 стенда. Крутящий момент  $T$  закручивает на угол  $\varphi$  ведущую часть относительно ведомой. Максимальное значение крутящего момента определяется конструкторской документацией. Строится зависимость ( $T-\varphi$ ) угла закрутки  $\varphi$  от приложенного момента  $T$  (рис. 3.7,а) и сравнивается с заданной в конструкторской документации.

Совершенно недопустимо наличие на зависимости  $T-\varphi$  окружного зазора  $\varphi_z$  (рис. 3.7,б).



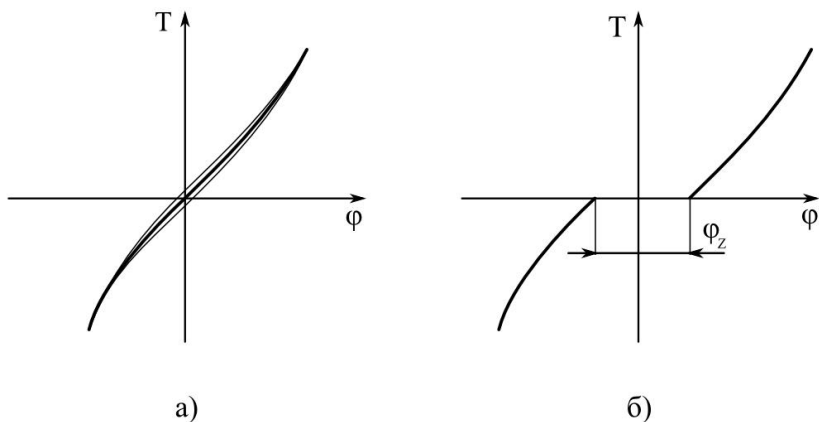


Рис. 3.7. Пример зависимости угла закрутки шлицевого соединения или карданного шарнира от приложенного момента

### ***Испытание рулевого вала на циклическую долговечность***

Испытания на циклическую долговечность проводят на стенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.6. К испытываемому объекту прикладывается знакопеременная циклическая нагрузка  $T$ . Амплитуда, частота, число циклов приложения крутящего момента  $T$  определяются по результатам режимометрирования рулевого управления в дорожных условиях и, задаются в программе испытания.

Периодически, через заданное число циклов нагружения и, после завершения испытания определяется жесткость на кручение испытываемого объекта и сравнивается с заданной в конструкторской документации. Объект считается прошедшим испытание на циклическую долговечность, если не разрушился, в нем не появились трещины, жесткость на кручение соответствует заданной в конструкторской документации. Возможно проведение вышеперечисленных испытаний для рулевого вала в сборе. В этом случае датчик угла поворота ведущей части относительно ведомой 3 (рис. 3.6) устанавливаются на каждом соединении – шлицевом, карданном. Если оговаривается методикой или программой испытаний, карданные шарниры проходят испытания с углами перекрещивания осей ведущей и ведомой частей заданными в конструкторской документации.

### 3.7. Испытания рулевого механизма

Определяют кинематическое передаточное отношение КПД рулевого механизма. Рулевые механизмы проходят испытания на статическую прочность, циклическую долговечность. Рулевые механизмы, оснащенные усилителем проходят дополнительные испытания.

#### *Определение передаточного отношения рулевого механизма*

Для определения передаточного отношения рулевой механизм оснащается датчиками углового перемещения входного вала и датчиками углового или линейного перемещения выходного элемента. Так для рулевого механизма «червяк-ролик» определяют зависимость угла поворота вала сошки от угла поворота ведущего вала (рис. 3.8).

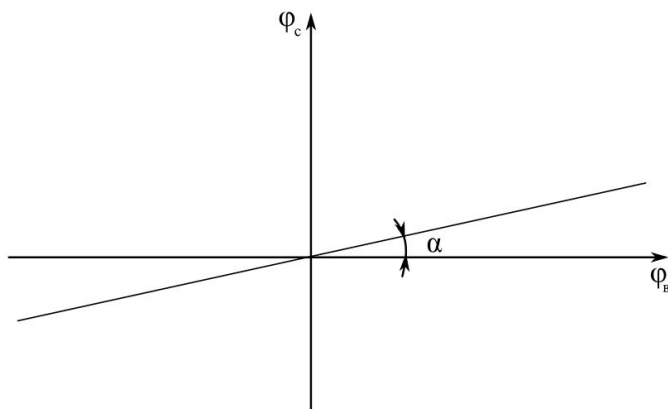


Рис. 3.8. Пример зависимость угла поворота вала сошки рулевого механизма от угла поворота ведущего вала

Передаточное отношение  $U_{\text{рм}}$  равно котангенсу угла  $\alpha$ .

$$U_{\text{рм}} = \frac{\varphi_{\text{в}}}{\varphi_{\text{с}}}$$

Передаточное отношение в данном случае величина безразмерная.

Для реечного рулевого механизма определяется зависимость перемещения рейки  $S_{\text{р}}$  от угла поворота ведущего вала  $\varphi_{\text{в}}$  (рис. 3.9).

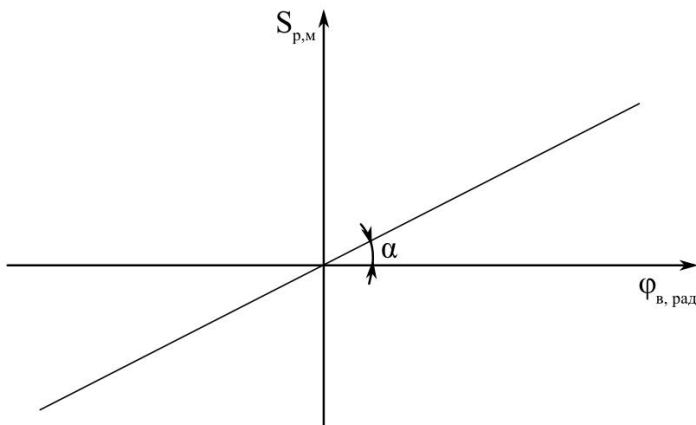


Рис. 3.9. Пример зависимости перемещения рейки рулевого механизма от угла поворота ведущего вала

Для рулевого механизма с постоянным числом передаточное отношение  $U_{pм}$  равно котангенсу угла  $\alpha$ .

$$U_{pм} = \frac{\Phi_{в}}{S_p} \frac{\text{рад}}{\text{м}}.$$

Для реечного рулевого механизма передаточное отношение имеет размерность радиан на метр или градус на метр.

Принципиально определение зависимости передаточного отношения  $U_{pм}$  от угла поворота ведущего вала  $\phi_{в}$  имеет такой же характер, как и определение передаточного отношения рулевого управления, рулевым механизмом с переменным передаточным отношением (п. 3.2).

#### **Определение коэффициента полезного действия рулевого механизма**

Коэффициент полезного действия (КПД) рулевого механизма определяется как отношение крутящего момента на выходе к крутящему моменту на входе рулевого механизма. Так, для рулевого механизма «червяк-ролик» принципиальная схема стенда представлена на рис. 3.10.

На выходной вал (вал сошки) надевают шкив с намотанным на него тросом. К тросу крепится груз известной массы  $m$ . Замеряется момент  $T_{в}$ , прилагаемый к ведущему валу, при его повороте в одну сторону до упора и в другую сторону до упора, и определяется прямой КПД рулевого механизма с учетом известного кинематического передаточного отношения  $U_{pм}$ :

$$\eta_{\text{рмп}} = \frac{m \cdot g \cdot r}{T_{\text{в}} \cdot U_{\text{рм}}},$$

где  $m$  – масса груза, кг;  $r$  – сумма радиусов шкива и троса, м;  $U_{\text{рм}}$  – кинематическое передаточное рулевого механизма;  $T_{\text{в}}$  – момент прикладываемый в ведущему валу рулевого механизма, Н·м.

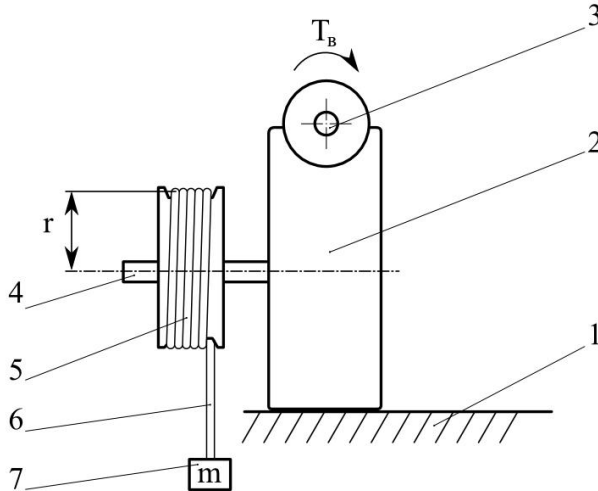


Рис. 3.10. Принципиальная схема стенда для определения коэффициента полезного действия рулевого механизма «червяк-ролик»: 1 – осадка стенда; 2 – рулевой механизм; 3 – ведущий вал; 4 – ведомый вал (вал сошки); 5 – шкив; 6 – трос; 7 – груз

Определяется и обратный КПД рулевого механизма. В этом случае шкив с грузом одевается на ведущий вал, и момент прикладывается к ведомому валу (валу сошки):

$$\eta_{\text{рмо}} = \frac{(m \cdot g \cdot r) \cdot U_{\text{рм}}}{T_{\text{с}}},$$

где  $m$  – масса груза, кг;  $r$  – сумма радиусов шкива и троса, м;  $U_{\text{рм}}$  – кинематическое передаточное рулевого механизма;  $T_{\text{с}}$  – момент прикладываемый в ведомому валу (валу сошки) Н·м.

Например, для рулевого механизма «червяк-ролик» прямой КПД выше обратного КПД.

### ***Испытание рулевого механизма на статическую прочность***

При испытании рулевого механизма на статическую прочность к валу рулевого механизма прикладывается крутящий момент, оговоренный в конструкторской документации. На первом этапе испытаний ведомый вал закрепляется от проворачивания, и оговоренный крутящий момент прикладывается к ведущему валу в одну сторону его вращения. Затем на другом рулевом механизме оговоренный крутящий момент прикладывается к ведущему валу в другую сторону его вращения. На втором этапе закрепляется ведущий вал, нагрузка, оговоренная в конструкторской документации, прикладывается к ведомому валу в одну сторону его вращения, на другом рулевом механизме – в другую. После проведения испытаний рулевые механизмы разбираются и осматриваются. Детали рулевого механизма не должны иметь трещин, повреждений.

### ***Испытание рулевого механизма на циклическую долговечность***

Испытания рулевого механизма на циклическую долговечность заключаются в имитации на стенде нагрузок на рулевой механизм подобных тем, которые возникают при эксплуатации автомобиля.

Принципиальная схема стенда для испытания реечного рулевого механизма на циклическую долговечность представлена на рис. 3.11.

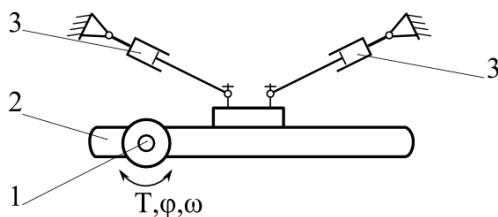


Рис. 3.11. Принципиальная схема стенда для испытания реечного рулевого механизма на циклическую долговечность: 1 – ведущий вал рулевого механизма; 2 – рулевой механизм; 3 – гидроцилиндры двустороннего действия

При проведении испытаний к ведущему валу 1 рулевого механизма 2 прикладывается нагрузка  $T$ , а гидроцилиндры 3 создают адекватное сопротивление перемещению рулевой рейки. Рулевая рейка установлена в положение движения автомобиля прямо, при повороте ведуще-

го вала перемещается влево или вправо и возвращается в исходное положение. Величина прикладываемого к ведущему валу момента  $T$ , его угол поворота  $\varphi$  и угловая скорость поворота  $\omega$  задаются в программе испытаний на основе результатов режимометрирования рулевого управления автомобиля в дорожных условиях. После проведения всего цикла испытаний рулевой механизм должен быть работоспособен.

### **3.8. Испытания рулевого привода**

Рулевой привод включает рулевые тяги, шарниры, наконечники рулевых тяг с шаровыми шарнирами.

Особо серьезный узел рулевого привода – наконечники рулевых тяг, который проходит проверку на статическую прочность, циклическую долговечность, определяются их рабочие характеристики.

Испытания наконечников рулевых тяг, шаровых соединений рулевых тяг на статическую прочность и циклическую долговечность проходят аналогично шаровым шарнирам подвески (п. 2.4 Испытания опор, шарниров подвески. Испытания шарового шарнира).

К рабочим характеристикам наконечников рулевых тяг относят углы качания шарового пальца, моменты страгивания, вращения и качания шарового пальца.

Угол качания шарового пальца определяют, замеряя угол между осями пальца отклоненного предельно в одну сторону в корпусе и предельно в другую сторону. Определяются характеристики минимум трех шарниров и сравниваются с заданными в конструкторской документации. Перед замером угла качания пальца шарнир проходит обкатку покачиванием и вращением пальца в корпусе. Число циклов нагружения при обкатке определяется программой испытаний.

Шаровые пальцы наконечников рулевых тяг проходят испытания на статическую прочность и циклическую долговечность аналогично шаровым пальцам подвески (п. 2.4).

Поворотные кулаки проходят испытания на статическую прочность и циклическую долговечность вместе с элементом, к которому они крепятся. Максимальное усилие при испытании поворотного кулака на статическую прочность оговаривается в конструкторской документации. Виды нагружения и нагрузочные режимы при испытании на циклическую долговечность задаются программой испытаний.

### 3.9. Дорожные испытания рулевого управления

В дорожных условиях оценивается информативность рулевого управления — чувство водителем угла поворота управляемых колес по усилию, прикладываемому к рулевому колесу, способность рулевого управления гасить удар, передаваемый на рулевое колесо при наезде управляемого колеса на неровность. Определяется эффективность работы усилителя рулевого управления по отношению усилия, прикладываемого к рулевому колесу при движении по заданной траектории с работающим и неработающим усилителем. Оценивается отсутствие «закусывания» рулевого управления при резком повороте рулевого колеса, отсутствие самопроизвольного поворота рулевого колеса создаваемого усилителем рулевого управления.

В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка рулевого управления до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии рулевого управления предъявляемым требованиям.

В дорожных условиях проводится режимометрирование.

Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании рулевого управления могут замеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость автомобиля;
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- угол поворота рулевого колеса;
- осевое, радиальное и тангенциальное усилие, прикладываемое к рулевому колесу;

- угол наклона, вылет рулевой колонки (для автомобилей с регулируемой рулевой колонкой);
- момент на ведущем валу рулевого механизма;
- изгибающий момент на сошке (если она есть);
- продольные и изгибные напряжения в рулевых тягах;
- изгибные напряжения на поворотных кулаках;
- угол поворота каждого управляемого колеса;
- ход каждого управляемого колеса относительно несущей системы автомобиля.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании рулевого управления. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так, чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний узлов и деталей рулевого управления.



---

## 4. ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

---

Тормозная система автомобиля, как и рулевое управление, обеспечивают активную безопасность автомобиля, что определяет очень высокие требования к надежности каждого её элемента. Тормозная система включает рабочую тормозную систему, запасную тормозную систему, стояночную тормозную систему и, для ряда автомобилей, вспомогательную тормозную систему. Рабочая, запасная, стояночная тормозные системы состоят из тормозного привода и, одного или нескольких тормозных механизмов. Следует различать испытания тормозной системы как одного из агрегатов и систем автомобиля и определение тормозных свойств автомобиля как одного из эксплуатационных свойств автомобиля.

Значительная часть испытаний тормозной системы, её деталей, узлов проводится на стендах, в том числе и в составе полнокомплектного автомобиля. Определенная часть испытаний тормозной системы проводится в дорожных условиях, как правило, на дорогах и спецучастках автополигонов, в составе полнокомплектного автомобиля или ходового макета.

В дорожных условиях проводится режимометрирование тормозной системы – сбор данных о ее нагрузочных режимах в различных условиях эксплуатации.

### 4.1. Определение тормозных сил на колесах

Тормозные силы на колесах автомобиля определяют на роликовых или площадочных стендах. Перед проведением испытаний автомобиль должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний – прогревочный пробег в объемах оговоренных программ испытаний. Результаты определения тормозных сил на колесах автомобиля

на роликовых стендах могут применяться только для сравнения с результатами определения на таком же стенде тормозных сил на колесах эталонного автомобиля или других автомобилей. На роликовом стенде пятно контакта испытуемого колеса с опорной поверхностью (роликами) существенно отличается от пятна контакта колеса с обычной дорожной поверхностью. Собственно у испытуемого колеса два пятна контакта с опорной поверхностью – по одной с каждым из роликов. Но на этом стенде определяются тормозные силы на каждом колесе. Схема стенда для определения тормозных сил на колесах представлена на рис. 4.1.

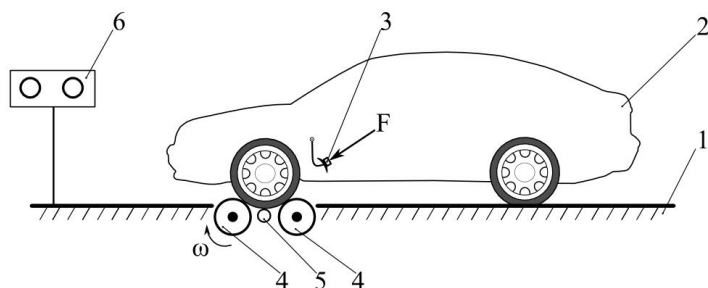


Рис. 4.1. Схема стенда для определения тормозных сил на колесах автомобиля: 1 – опорная поверхность; 2 – испытуемый автомобиль; 3 – датчик силы на педали тормоза; 4 – ролики рабочие; 5 – ролик с датчиком вращения; 6 – экран

У стенда две пары рабочих роликов 4 (рис. 4.1), на которые устанавливаются колеса одной оси автомобиля 1. На педаль тормоза устанавливается датчик силы 3. Рабочие ролики стенда 4 с профилированной поверхностью для повышения порога проскальзывания шин, приводят во вращение колеса автомобиля. Водитель-испытатель или специальное устройство нажимают на педаль тормоза 3 с усилием  $F$  оговоренным в программе испытаний.

Реактивный датчик стенда определяет момент сопротивления вращению рабочих роликов стенда создаваемый тормозным механизмом каждого колеса, и выдаёт информацию на табло 6 и, при необходимости, на регистрирующее устройство.

Ролик с датчиком вращения колеса 5 подает информацию о том, заблокировано колесо или нет.

После определения тормозных сил на колесах одной оси автомобиль перемещают и на ролики устанавливают колеса другой оси. Испытание повторяется. Результаты определения тормозных сил на каждом из колес сравнивают с аналогичными для эталонного автомобиля, определяют тормозные силы на колесах каждой оси, каждого борта автомобиля. На этом стенде можно определить наличие разнотолщинности дисков дисковых тормозных механизмов, наличие овальности барабанов барабанных тормозных механизмов. Можно определять зависимость тормозной силы на колесе от усилия  $F$  прикладываемого к педали тормоза.

Площадочные стенды позволяют определить сумму тормозных сил на колесах автомобиля (рис. 4.2).

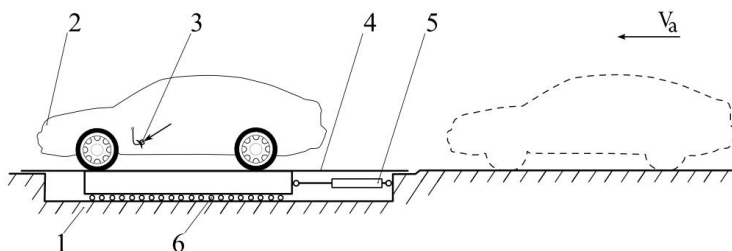


Рис. 4.2. Схема площадочного стенда для определения суммарной тормозной силы на колесах автомобиля: 1 – опорная поверхность; 2 – испытуемый автомобиль; 3 – датчик силы на педали тормоза; 4 – площадка подвижная; 5 – датчик силы стенда; 6 – ролики

Испытуемый автомобиль 1 (рис. 4.2) разгоняется до скорости, заданной программой испытаний и заезжает на подвижную площадку 4. Водитель-испытатель нажимает на педаль тормоза с усилием, оговоренным в программе испытаний. Автомобиль затормаживается, датчик силы стенда 5 определяет суммарную тормозную силу на колесах автомобиля, равную силе инерции затормаживаемого автомобиля. На этом стенде можно определить коэффициент сцепления тех или иных шин автомобиля с тем или иным покрытием (асфальт, булыжник, брусчатка, песок и т. д.) опорной поверхности.

## 4.2. Испытание тормозного механизма и тормозного привода рабочей тормозной системы на стенде с нагружением от маховых масс

Испытание тормозного механизма на стенде с нагружением от маховых масс позволяют оценить износостойкость фрикционных пар, контртела – тормозного диска или тормозного барабана; долговечность тормозного привода, тормозного механизма и др.

Схема стенда с нагружением от маховых масс для испытания тормозного механизма и тормозного привода представлена на рис. 4.3.

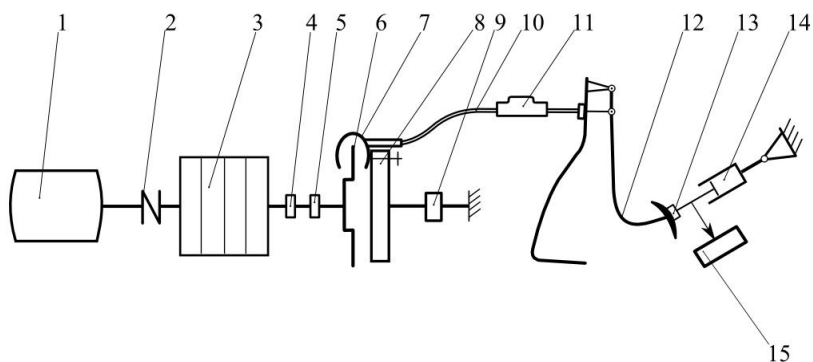


Рис. 4.3. Схема стенда с нагружением от маховых масс (на примере дискового тормозного механизма): 1 – тяговый электродвигатель; 2 – обгонная муфта; 3 – маховая масса, имитирующая массу поступательно движущегося автомобиля приходящуюся на один тормозной механизм; 4 – датчик частоты вращения; 5 – датчик крутящего момента; 6 – контртело тормозного механизма (тормозной диск); 7 – скоба тормозного механизма в сборе; 8 – имитатор ступицы колеса; 9 – датчик крутящего момента; 10 – трубка и шланг тормозного привода; 11 – главный тормозной цилиндр; 12 – педаль тормоза; 13 – датчик силы; 14 – устройство для нажатия на педаль тормоза; 15 – датчик перемещения

Тяговый электродвигатель 1 (рис. 4.3) разгоняет контртело тормозного механизма (тормозной диск 6) до угловой скорости  $\omega_1$ , соответствующей линейной скорости движения автомобиля  $V_1 = \omega_1 \cdot r_k$  (где  $r_k$  – кинематический радиус качения колеса). К педали тормоза 9 с заданной скоростью нарастания прикладывается усилие нажатия.

Скорость нарастания усилия нажатия, максимальное усилие нажатия на педаль тормоза задаются в программе испытаний и определяются по результатам режимометрирования тормозной системы в дорожных условиях. После снижения угловой скорости контртела б до заданного программой испытаний значения  $\omega_2$  с педали тормоза снимается усилие нажатия. Тяговый электродвигатель разгоняет контртело б до заданной угловой скорости и процесс повторяется.

Начальная  $\omega_1$  и конечная  $\omega_2$  угловые скорости, число циклов нагружения задаются программой испытаний.

Испытания продолжаются до выполнения заданного программой числа циклов нагружения, полного износа любой из фрикционных накладок, снижения толщины контртела до порогового значения. Дается оценка долговечности элементов тормозного привода.

Через определенные программой испытаний промежутки времени или циклов нагружения проводится оценка коробления тормозного диска или образования у него разнотолщинности.

При необходимости контртело (тормозной диск, тормозной барабан) оснащаются датчиками температуры, привод тормозов (гидропривод, пневмопривод) – датчиками давления.

Электродвигатель стенда может вращать контртело (тормозной диск, барабан) с постоянной угловой скоростью, что позволяет определить зависимость коэффициента трения пары трения фрикционные накладки – контртело от скорости скольжения. На этом же стенде возможно определение зависимости коэффициента трения пары трения от температуры поверхности контртела.

Для более реального воспроизведения эксплуатационных режимов на стенде применяется обдув пар трения для поддержания их температуры заданной программой испытаний.

При проведении испытания пар трения фрикционные накладки – контртело на износостойкость одновременно проходят испытания: педаль тормоза – на циклическую долговечность, опора педали тормоза – на циклическую долговечность и износостойкость, главный тормозной цилиндр и его компоненты на износостойкость и герметичность, шланги гидропривода тормозов на герметичность и циклическую долговечность, трубки привода тормозов на герметичность, компоненты тормозного механизма на износостойкость, циклическую долговечность и герметичность и др.

### 4.3. Испытание тормозного механизма рабочей тормозной системы

Тормозной механизм испытывают на долговечность. Для примера рассмотрим испытание на долговечность барабанного тормозного механизма с гидроприводом. Схема стенда представлена на рис. 4.4.

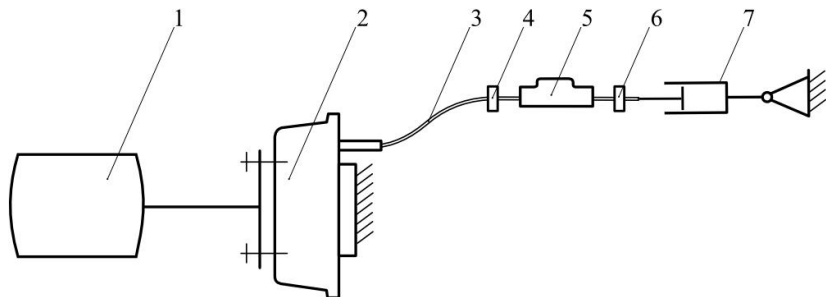


Рис. 4.4. Схема стенда для испытания тормозного механизма на долговечность: 1 – устройство для проворачивания контртела (тормозного барабана); 2 – тормозной механизм (барабанный); 3 – трубка и шланг тормозного привода; 4 – датчик давления; 5 – главный тормозной цилиндр; 6 – датчик силы; 7 – устройство нажатия на шток главного тормозного цилиндра

Устройство 7 (рис. 4.4) создает циклическое нажатие на шток главного тормозного цилиндра 5. Усилие нажатия контролируется датчиком силы 6. Главный тормозной цилиндр 5 создает давление в гидроприводе контролируемое датчиком 4. Давление в гидроприводе приводит в работу тормозной механизм. В это время устройство 1 проворачивает контртело (тормозной барабан) на угол заданный программой испытаний.

Усилие и скорость нажатия на шток главного тормозного цилиндра, число циклов испытаний задаются в программе испытаний.

Испытания проводятся до истечения заданного числа циклов испытаний или до потери работоспособности любым компонентом тормозного механизма.

Одновременно с испытанием на долговечность тормозного механизма аналогичное испытание проходит и часть тормозного привода.

#### 4.4. Испытание тормозного привода рабочей тормозной системы

Испытание тормозного привода проводят на герметичность, жесткость и прочность. При проведении испытаний имитируется режим экстренного торможения, когда водитель с большой силой нажимает на педаль тормоза. Испытания проводят на автомобиле, установленном на горизонтальной площадке.

Рассмотрим для примера гидропривод тормозов. На автомобиль устанавливается устройство нажатия на педаль тормоза с датчиком силы, датчик давления в гидроприводе, датчики перемещения оси педали тормоза, датчики вертикального и горизонтального перемещения дальнего от тормозной педали части главного тормозного цилиндра.

К педали тормоза прикладывается усилие, оговоренное в программе испытаний. Замеряется давление в тормозном приводе, перемещение и деформации деталей привода, на которых установлены датчики перемещений, визуально оценивается отсутствие течей в тормозном приводе. В это же время возможно проконтролировать отсутствие течей в тормозных механизмах. Течей быть не должно, как не должно быть и остаточных деформаций и перемещений привода тормозов после снятия нагрузки с педали тормоза.

#### 4.5. Испытание стояночной тормозной системы

Стояночную тормозную систему испытывают на роликовом стенде. Автомобиль устанавливают на стенд колесами оси, на которую воздействует стояночная тормозная система. Под другие колеса устанавливают противооткатные упоры. Ролики приводят во вращение и через датчик силы к органу управления стояночной тормозной системы прикладывают усилие, указанное в программе испытаний. Определяют тормозные силы на колесах. По заранее определенной массе автомобиля, приходящейся на ось на которую воздействует стояночная тормозная система и суммарной тормозной силе на колесах данной оси вычисляют удельную тормозную силу  $\gamma_T$ :

$$\gamma_T = \frac{\sum P_T}{M \cdot g},$$

где  $P_t$  – тормозные силы на колесах;  $M$  – масса автомобиля, приходящаяся на ось на которую воздействует стояночная тормозная система;  $g$  – ускорение свободного падения.

Автомобиль считают выдержавшим проверку эффективности торможения стояночной тормозной системой, если удельная тормозная сила не меньше указанной в программе испытаний или если колеса проверяемой оси блокируются от проворачивания на роликах стенда.

#### **4.6. Дорожные испытания тормозной системы**

В дорожных условиях оценивается информативность тормозного привода - соответствие замедления автомобиля перемещению педали тормоза и прикладываемому к ней усилию.

Оценивается шумность и виброактивность тормозных механизмов, как при свободном движении автомобиля, так и при его торможении, отсутствие стуков от перекладки зазоров в тормозных механизмах, как при торможении, так и при растормаживании автомобиля. Оценивается эффективность тормозной системы как при работающем, так и при неработающем усилителе в тормозном приводе.

В дорожных условиях проводятся ресурсные испытания. Ресурсные испытания проводятся по заранее утвержденной программе, где расписано сочетание параметров для каждого этапа: скоростные режимы движения, весовое состояние, типы опорной поверхности, рельеф местности, температурные условия, и пробег автомобиля при различных сочетаниях этих параметров. После завершения всего цикла ресурсных испытаний проводится разборка тормозной системы до деталей, их осмотр, дефектовка, оценка износа. Анализируются отказы, неисправности, возникшие в процессе ресурсных испытаний. Делается заключение о соответствии тормозной системы предъявляемым требованиям.

В дорожных условиях проводится оценка эффективности торможения рабочей и запасной тормозными системами и устойчивости автомобиля при этом; оценивают неподвижность автомобиля заторможенного стояночной тормозной системой на заданном уклоне; оценивают эффективность вспомогательной тормозной системы по установившемуся замедлению автомобиля в заданном диапазоне ско-



ростей. При движении автомобиля оценивают информативность тормозного привода, отсутствие вибраций при торможении автомобиля.

Режимометрирование тормозной системы проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании тормозной системы могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля (если движется);
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- усилие, прикладываемое к педали тормоза;
- ход педали тормоза;
- давление в тормозном приводе;
- температура (в различных точках) в тормозном приводе;
- температура (тормозной диск, тормозной барабан) в тормозном механизме;
- замедление автомобиля;
- механические напряжения в деталях тормозного привода и тормозных механизмах;
- усилие, прикладываемое к рычагу стояночного тормоза;
- механические напряжения в деталях привода стояночного тормоза и др.

В процессе режимометрирования периодически замеряется и регистрируется износ фрикционных накладок.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании тормозной системы. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний тормозной системы.

---

## 5. ИСПЫТАНИЯ ШИН И КОЛЕС

---

Шины один из основных компонентов автомобиля, они обеспечивают такие важные эксплуатационные свойства как тормозная и тяговая динамика, управляемость и устойчивость, плавность хода, проходимость, шумность, топливная экономичность, надежность.

В стендовых и дорожных условиях определяют параметры шин обеспечивающих эти эксплуатационные свойства – сцепные свойства и сопротивление на разных типах опорной поверхности, упругие и демпфирующие свойства, противодействие аквапланированию и другие, проводят испытания шин и колес на прочность и долговечность. Дорожные испытания проводят на дорогах общего пользования, на дорогах и спецсооружениях автополигонов.

### 5.1. Определение коэффициента сопротивления качению шины

Определяют коэффициент сопротивления качению шины  $f_0$  на малых скоростях (до 10 км/час) и зависимость коэффициента сопротивления качению шины от скорости ее качения

Коэффициент сопротивления качению шины на малых скоростях определяют:

- по выбегу автомобиля со скорости 10 км/час;
- замером силы сопротивления качению автомобиля при его буксировке;
- на стенде с беговым барабаном;

Зависимость коэффициента сопротивления качению шины от скорости её качения определяют:

- замером силы сопротивления качению автомобиля при его буксировке под аэродинамическим экраном;
- на стенде с беговым барабаном.

### **Определение коэффициента сопротивления качения шины по выбегу автомобиля**

Для проведения испытаний выбирается ровный, горизонтальный участок опорной поверхности (длина подбирается экспериментально) коэффициент сопротивления качению шин на который необходимо определить.

Автомобиль с испытуемым типом шин предварительно должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний прогревочный пробег. Температура воздуха, скорость ветра, состояние опорной поверхности (к примеру, мокрая, заснеженная, или наличие песка на асфальте и т. д.) должны соответствовать программе испытаний.

Автомобиль разгоняется до скорости 13...15 км/ч и далее с выключенной передачей в коробке передач движется накатом. При этом записывается текущее время, скорость автомобиля, путь пройденный автомобилем. Испытания выполняются трижды в прямом и обратном направлениях. По записям определяется средний выбег автомобиля со скорости 10,0 км/час до полной остановки в прямом  $S_{\text{вп}}$  и обратном  $S_{\text{во}}$  направлениях и время выбега в прямом  $t_{\text{п}}$  и обратном  $t_{\text{о}}$  направлениях (рис. 5.1).

По выбегу и времени выбега рассчитываются:

- коэффициент сопротивления качению шины на малых скоростях  $f_0$ ;
- уклон опорной поверхности (этот параметр включает и ветровую составляющую):

$$f_0 = \frac{\delta}{g} \left( \frac{S_{\text{п}}}{t_{\text{п}}^2} + \frac{S_{\text{о}}}{t_{\text{о}}^2} \right); \quad i = \frac{\delta}{g} \left( \frac{S_{\text{п}}}{t_{\text{п}}^2} - \frac{S_{\text{о}}}{t_{\text{о}}^2} \right),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;  $S$  – выбег, м;  $t$  – время, сек;  $\delta$  – коэффициент учитывающий инерционность вращающихся масс колес, элементов трансмиссии:

$$\delta = 1 + \left( \frac{J_{\text{тр}}}{m_a \cdot r_{\text{к}}^2} + \frac{n \cdot J_{\text{к}}}{m_a \cdot r_{\text{к}}^2} \right),$$

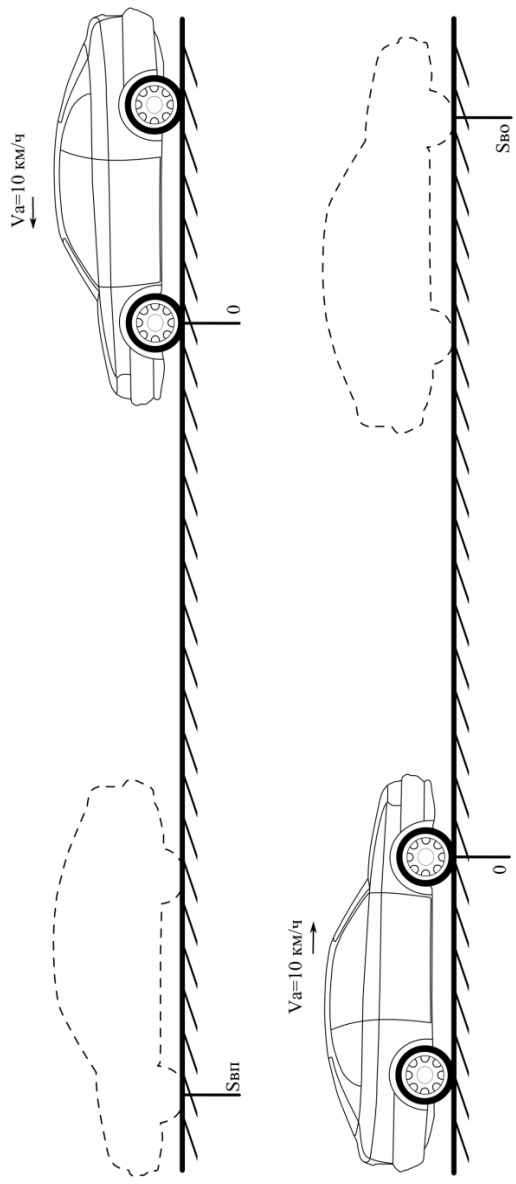


Рис. 5.1. Определение выбoga автомобиля

здесь  $m_a$  – масса испытуемого автомобиля, кг;  $r_k$  – кинематический радиус качения колеса, м;  $n$  – число колес автомобиля вращающихся при движении;  $J_k$  – момент инерции колеса, кг·м<sup>2</sup>;  $J_{тр}$  – момент инерции вращающихся масс трансмиссии при выбеге автомобиля с выключенной передачей в коробке передач, приведенный к ведущим колесам (приводные валы и полуоси, дифференциал в сборе, шестерни главной передачи, карданная передача, связанные с вращением ведущих колес валы коробки передач, раздаточной коробки и т. д.).

***Определение коэффициента сопротивления качению шины замером силы сопротивления качению автомобиля при его буксировке***

Выбирается ровный, горизонтальный участок опорной поверхности для проведения испытаний (асфальт, булыжник, грунтовка, песок, снег, лед и т. д.) для которого необходимо определить коэффициент сопротивления качению шины.

Автомобиль с испытуемым типом шин предварительно должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний прогревочный пробег. Температура воздуха, скорость ветра, состояние опорной поверхности (к примеру, мокрая, заснеженная, или наличие песка на асфальте и т. д.) должны соответствовать программе испытаний. Определяется вес автомобиля  $G_a$ . К автомобилю крепится датчик силы (динамометр) для определения силы сопротивления качению автомобиля  $P_f$ .

Испытуемый автомобиль буксируется с выключенной передачей (рис. 5.2). Замер производится трижды при буксировке автомобиля в одну сторону и трижды при буксировке автомобиля в прямо противоположную сторону в пределах выбранного участка опорной поверхности со скоростью до 10 км/час. По усредненному значению силы сопротивления качения на данном участке определяется коэффициент сопротивления качению при малой скорости движения  $f_0$ .

$$f_0 = P_f / G_a,$$

где  $P_f$  – среднее значение силы сопротивления качению автомобиля, Н;  $G_a$  – вес автомобиля при проведении испытания, Н.

При проведении испытаний на опорной поверхности с низкой несущей способностью песок, снег, пашня, размокший грунт и т. д. автомобиль- тягач нужно подбирать таким образом, чтобы шины испытуемого автомобиля не попадали в колею тягача. Каждый заезд выполняется на свежем участке опорной поверхности.

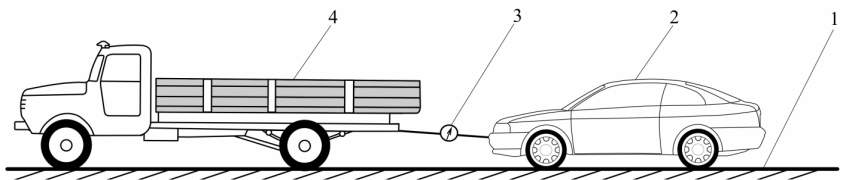


Рис. 5.2. Определение силы сопротивления качению автомобиля:  
 1 – опорная поверхность; 2 – испытуемый автомобиль; 3 – динамометр (датчик силы); 4 – автомобиль-тягач

***Определение коэффициента сопротивления качению шины на стенде с беговым барабаном***

Коэффициент сопротивления качению шины можно определить на стенде, но справедлив он будет только для того покрытия, которое образует поверхность бегового барабана стенда.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 5.3.

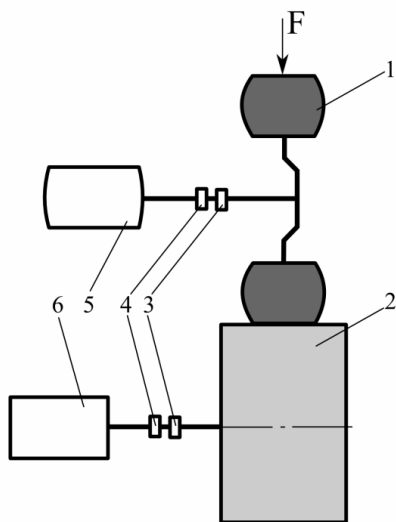


Рис. 5.3. Принципиальная схема стенда для определения коэффициента сопротивления качению шин: 1 – испытуемая шина; 2 – беговой барабан; 3 – датчик угловой скорости; 4 – датчик крутящего момента; 5 – приводной электродвигатель; 6 – тормозной механизм

Соответствующим устройством шина прижимается к опорной поверхности бегового барабана с силой  $F$ , определяемой из развесовки автомобиля или задаваемой программой испытаний.

Перед проведением испытаний производится прогревочный пробег шины на стенде. Приводной двигатель раскручивает испытуемое колесо и беговой барабан до заданной методикой испытаний угловой скорости, тормозной механизм, при этом, создает сопротивление вращению бегового барабана и качению колеса.

Мощность, создаваемая приводным электродвигателем  $N_{дв}$  расходуется на мощность сопротивлению качению колеса  $N_k$  и мощность, создаваемую тормозным механизмом  $N_t$  (мощностью потерь в подшипниковых опорах колеса  $N_{пк}$  и бегового барабана  $N_{пб}$  пренебрегают, хотя их можно учитывать).

$$N_{дв} = N_k + N_t,$$

откуда

$$N_k = N_{дв} - N_t,$$

где  $N_k = F \cdot f \cdot v_k = F \cdot f \cdot \omega_{дв} \cdot r_k$ ;  $N_{дв} = T_{дв} \cdot \omega_{дв}$ ;  $N_t = T_t \cdot \omega_t$ .

Следовательно,

$$f = \frac{T_{дв} \cdot \omega_{дв} - T_t \cdot \omega_t}{F \cdot \omega_{дв} \cdot r_k},$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению колеса на скорости  $\omega_{дв} \cdot r_k$ ;  $T_{дв}$  – момент, создаваемый электродвигателем, Н·м;  $\omega_{дв}$  – угловая скорость вращения вала электродвигателя, рад/сек;  $T_t$  – момент сопротивления вращению барабана, создаваемый тормозным механизмом, Н·м;  $\omega_t$  – угловая скорость вращения вала тормозного механизма, рад/сек;  $F$  – сила прижатия колеса к беговому барабану, Н;  $r_k$  – радиус кинематический колеса, м;

Кинематический радиус качения колеса, который необходимо измерять, можно заменить в формуле на радиус бегового барабана  $r_б$ , который постоянен, с соответствующей заменой угловой скорости вращения колеса на угловую скорость вращения барабана  $\omega_t$ .

$$f = \frac{T_{дв} \cdot \omega_{дв} - T_t \cdot \omega_t}{F \cdot \omega_t \cdot r_б}.$$

Стендовые испытания позволяют легко определить и коэффициент сопротивления качению шины на малых скоростях  $f_0$  и зависимость коэффициента сопротивления качению шины от скорости ее

качения, зависимость коэффициента сопротивления качению шины от давления воздуха в ней, приложенной к ней нагрузке. Полученные зависимости будут справедливы только для покрытия, которое образует поверхность бегового барабана.

***Определение зависимости коэффициента сопротивления качению шины от скорости ее качения***

Для определения зависимости силы сопротивления качению шины автомобиль с испытуемыми шинами буксируют по выбранному участку опорной поверхности (асфальт, грунтовка, песок и т. д.) на заданной скорости и замеряют силу сопротивления его движению. Автомобиль с испытуемым типом шин предварительно должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний прогревочный пробег. Температура воздуха, скорость ветра, состояние опорной поверхности (к примеру, мокрая, заснеженная, или наличие песка на асфальте и т. д.) должны соответствовать программе испытаний.

Для исключения ветровой составляющей силы сопротивления движению автомобиля его помещают в аэродинамический экран 3 (рис. 5.4), который и буксирует автомобиль – тягач 7. Динамометром 5 замеряется сила сопротивления качению автомобиля на испытуемых шинах на разных скоростях его движения. Регистрируются – сила сопротивления качению автомобиля, скорость его движения. На одном и том же участке опорной поверхности, на одной и той же скорости испытания проводятся трижды при буксировке автомобиля одну сторону и трижды при буксировке автомобиля в прямо противоположную сторону.

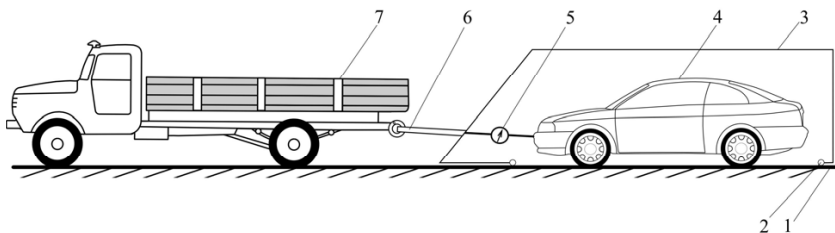


Рис. 5.4. Определение силы сопротивления качению автомобиля:  
1 – опорная поверхность; 2 – колеса аэродинамического экрана;  
3 – аэродинамический экран; 4 – испытуемый автомобиль; 5 – динамометр;  
6 – опорно-сцепное устройство; 7 – автомобиль тягач



По усредненному значению силы сопротивления качения на данном участке на данной скорости определяется коэффициент сопротивления качению  $f_v$ :

$$f_v = F_f / G_a,$$

где  $f_v$  – усредненное значение силы сопротивления качению автомобиля на скорости  $V$ , Н;  $G_a$  – вес автомобиля при проведении испытаний, Н.

По определенным значениям коэффициента сопротивления качению на заданном участке опорной поверхности на разных скоростях строится зависимость коэффициента сопротивления качению шины данного типа от скорости ее качения в заданном скоростном диапазоне (рис. 5.5).

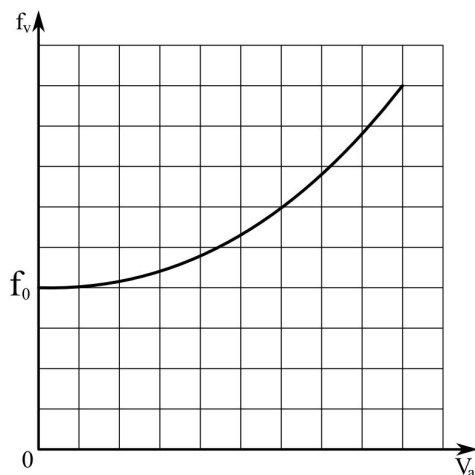


Рис. 5.5. Зависимость коэффициента сопротивления качению шины от скорости ее качения

#### ***Определение коэффициента сопротивления качению шины по выбегу на стенде с беговым барабаном***

Коэффициент сопротивления качению шины можно определить по выбегу на стенде с беговым барабаном в соответствии с ГОСТ Р 52102 «Шины пневматические. Определение сопротивления качению методом выбега».

Здесь испытываемая шина устанавливается на стенд с беговым барабаном со стальной беговой дорожкой (рис. 5.6).

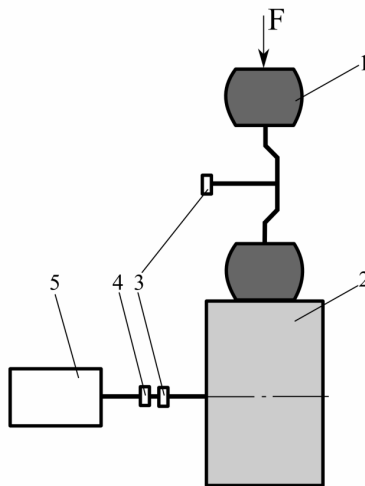


Рис. 5.6. Принципиальная схема стенда для определения коэффициента сопротивления качению шины методом выбега: 1 – испытываемая шина; 2 – беговой барабан; 3 – датчик числа оборотов; 4 – датчик угловой скорости; 5 – приводной электродвигатель

Стенд оснащается датчиками числа оборотов шины и бегового барабана, температуры внутри шины или её поверхности и окружающего воздуха. Кроме этих параметров регистрирующая аппаратура фиксирует время.

Определяются: момент инерции колеса с шиной, моменты инерции бегового барабана, вращающихся частей электродвигателя и привода. Перед проведением испытаний проводят предварительную обкатку шины (прогрев). Усилие прижатия шины к барабану задаётся в программе испытаний.

При проведении испытаний шину разгоняют до максимально допустимой скорости качения при заданной нагрузке в соответствии с нормативной и технической документацией на шину, затем тяговый электродвигатель выключают и записывают угловую скорость вращения барабана, число оборотов барабана и шины, время вплоть до полной остановки шины. Испытания проводят минимум трижды.

По полученным результатам по ГОСТ Р 52102 определяют коэффициент сопротивления качению при скорости близкой к нулю  $f_0$  и зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости качения шины. На этом стенде можно получить зависимость коэффициента сопротивления качению от давления воздуха в ней и приложенной к ней нагрузки.

Полученные зависимости будут справедливы для того покрытия, которое образует поверхность бегового барабана.

## 5.2. Определение сцепных свойств шины

Определяют коэффициенты сцепления шины с опорной поверхностью в продольном и боковом направлениях.

Коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью в продольном направлении определяют способами:

- замером силы сцепления шин автомобиля с опорной поверхностью при его буксировке со всеми заторможенными колесами;
- на стенде.

Коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью в поперечном направлении определяют на стенде.

Определение зависимости коэффициента сцепления от скорости скольжения шины в данном учебном пособии не рассматривается.

### *Определение коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью в продольном направлении при буксировке автомобиля со всеми заторможенными колесами*

Для проведения испытаний выбирается ровный горизонтальный участок опорной поверхности (длина подбирается экспериментально) коэффициент сцепления шин с которой необходимо определить

Автомобиль с испытуемым типом шин предварительно должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний прогревочный пробег. Температура воздуха, скорость ветра состояние опорной поверхности (к примеру мокрая, заснеженная, или наличие песка на асфальте и т. д.) должно соответствовать программе испытаний.

Определяется вес автомобиля  $G_a$ . К автомобилю крепится датчик силы (динамометр) для определения силы сцепления колес автомобиля с опорной поверхностью  $P_\phi$ . Испытуемый автомобиль буксируется

за тягачом со всеми заблокированными от проворачивания рабочей тормозной системой колесами (рис. 5.7).

Замер производится трижды при буксировке автомобиля в одну сторону и трижды при буксировке автомобиля в прямо противоположную сторону в пределах выбранного участка опорной поверхности. По усредненному значению силы сцепления на данном участке определяется коэффициент сцепления колеса с дорогой.

$$\varphi = \frac{P_{\varphi}}{G_a},$$

где  $P_{\varphi}$  – среднее значение силы сцепления шин автомобиля с дорогой, Н;  $G_a$  – вес автомобиля при проведении испытания, Н.

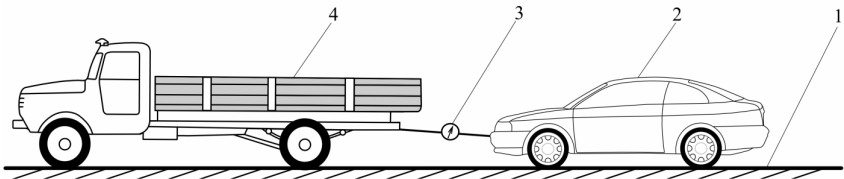


Рис. 5.7. Определение силы сцепления шин автомобиля с дорогой:  
1 – опорная поверхность; 2 – испытуемый автомобиль; 3 – динамометр (датчик силы); 4 – автомобиль тягач

При проведении испытаний на опорной поверхности с низкой несущей способностью песок, снег, пашня, размокший грунт и т. д. автомобиль-тягач нужно подбирать таким образом, чтобы шины испытуемого автомобиля не попадали в колею тягача. Каждый заезд выполняется на свежем участке опорной поверхности.

#### ***Определение коэффициента сцепления шины на стенде***

Коэффициент сцепления шины можно определить на стенде, но справедлив он будет только для того покрытия, которое образует опорная поверхность стенда.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 5.8.

Прижимным устройством шина в сборе с колесом прижимается к опорной поверхности с силой  $F_z$ , определяемой из развесовки автомобиля, если иное не задано программой испытаний. Для определе-

ния коэффициента сцепления в продольном направлении к опорной поверхности прикладывается и замеряется сила  $F_z$ , необходимая и достаточная для проскальзывания опорной поверхности относительно заторможенной шины (рис. 5.8,а). Колесо, при этом, блокируется от проворачивания.

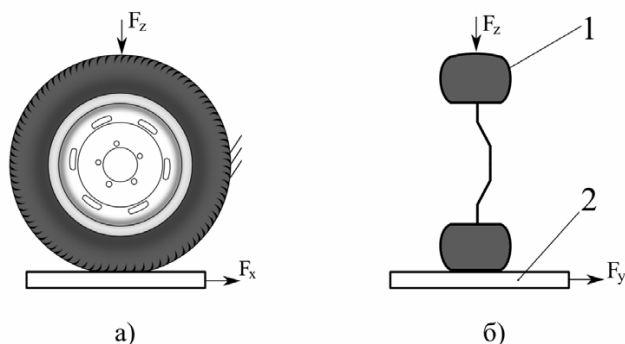


Рис. 5.8. Принципиальная схема стенда для определения коэффициента сцепления шины: 1 – испытуемая шина; 2 – опорная поверхность

Для определения коэффициента сцепления в боковом направлении шина в сборе с колесом прижимается к опорной поверхности с силой  $F_z$ , определяемой из развесовки автомобиля. К опорной поверхности прикладывается и замеряется сила  $F_y$ , необходимая и достаточная для проскальзывания опорной поверхности в боковом направлении относительно шины (рис. 5.8,б).

Коэффициенты сцепления шины с опорной поверхностью при малой скорости скольжения определяются

- 1) в боковом направлении

$$\varphi_{об} = \frac{F_y}{F_z};$$

- 2) в продольном направлении

$$\varphi_{оп} = \frac{F_x}{F_z}.$$

На стенде могут устанавливаться опорные поверхности с разными покрытиями: асфальт, бетон, грунт и т. д.

### 5.3. Определение упругих свойств шины

Для шин определяют статические и динамические упругие характеристики.

#### *Определение статических упругих характеристик шины*

Определяют вертикальную, боковую, тангенциальную и угловую жесткости шин при статическом нагружении. Перед проведением испытаний давление в шине устанавливается заданное заводом – изготовителем или программой испытаний (к примеру, при определении зависимости жесткостных свойств шины от давления в ней).

Принципиальная схема стенда для определения статической вертикальной жесткости шины представлена на рис. 5.9.

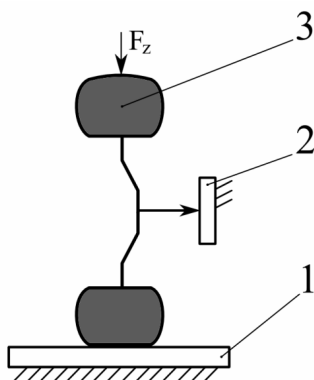


Рис. 5.9. Принципиальная схема стенда для определения статической вертикальной жесткости шины: 1 – опорная поверхность; 2 – датчик деформации шины; 3 – испытываемая шина

В процессе испытаний определяется зависимость вертикальной деформации шины  $Z$  от прикладываемой вертикальной нагрузки  $F_z$ . Прикладываемая вертикальная нагрузка изменяется от 0 до  $F_{z \max}$  и обратно до 0. Испытания проводятся минимум трижды. Максимальная вертикальная нагрузка  $F_{z \max}$  может соответствовать максимальной статической нагрузке из развесовки автомобиля, индексу грузоподъемности шины или быть иной, задаваемой программой испытаний.

По усредненным значениям нагрузки и деформации строится зависимость вертикальной деформации шины от прикладываемой вертикальной нагрузки (рис. 5.10).

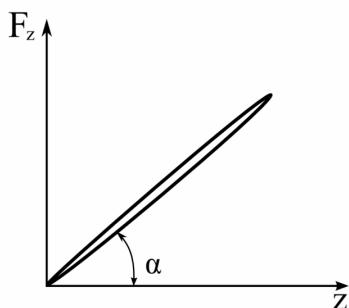


Рис. 5.10. Зависимость вертикальной деформации шины от прикладываемой вертикальной нагрузки

Вертикальная статическая жесткость шины определяется как тангенс угла наклона средней линии (между ветвями нагрузки и разгрузки) к оси абсцисс.

$$C_z = \operatorname{tg}\alpha = \frac{F_z}{Z} \frac{H}{M}.$$

Принципиальная схема стенда для определения статической боковой жесткости шины представлена на рис. 5.11.

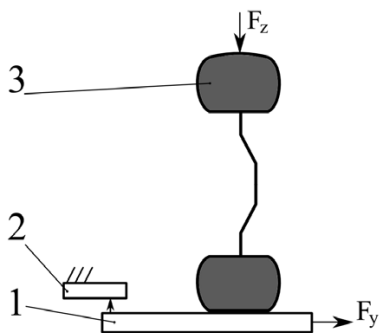


Рис. 5.11. Принципиальная схема стенда для определения статической боковой жесткости шины: 1 – опорная поверхность; 2 – датчик деформации шины; 3 – испытуемая шина

К шине прикладывается вертикальная прижимная сила  $F_z$  равная максимальной статической нагрузке на шину из развесовки автомобиля, или соответствующая индексу грузоподъемности шины, или иная, заданная программой испытаний. К колесу или опорной поверхности, в зависимости от конструкции стенда, прикладывается и измеряется боковая сила  $F_y$ , увеличивающаяся от 0 до значения, когда наступает проскальзывание между шиной и опорной поверхностью. Это можно определить по характерному шуму в пятне контакте или по приборам – боковая сила  $F_y$  не увеличивается, а перемещение центра шины относительно опорной поверхности продолжается. Выполняется минимум три цикла нагружения-разгружения и строится зависимость бокового перемещения центра шины относительно опорной поверхности от прикладываемой боковой силы  $F_y$  (аналогична зависимости  $F_z-z$ , приведенной на рис. 5.10).

Определяется боковая жесткость шины

$$C = \frac{F_y}{y} \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Принципиальная схема стенда для определения статической тангенциальной жесткости шины представлена на рис. 5.12.

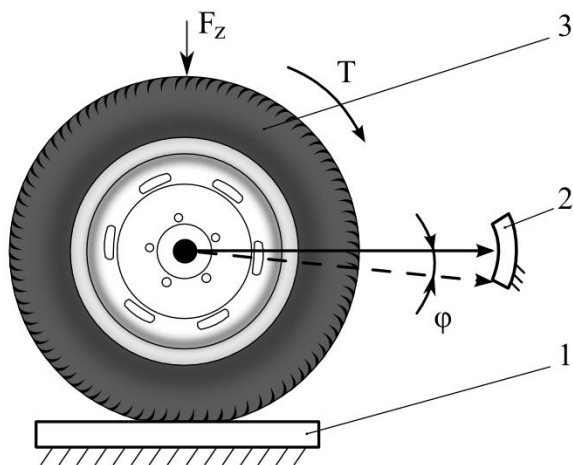


Рис. 5.12. Принципиальная схема стенда для определения статической тангенциальной жесткости шины: 1 – опорная поверхность; 2 – датчик тангенциальной деформации шины; 3 – испытуемая шина



К шине прикладывается вертикальная прижимная сила  $F_z$  равная максимальной статической нагрузке на шину из развесовки полностью груженого автомобиля, или иная, заданная программой испытаний. К шине прикладывается крутящий момент  $T$  вокруг оси качения шины и определяется тангенциальная деформация шины  $\varphi$ . Крутящий момент увеличивается от 0 до значения, когда наступает проскальзывание между шиной и опорной поверхностью. Это можно определить по характерному шуму в пятне контакта или по приборам – угол  $\varphi$  увеличивается, а крутящий момент  $T$  не изменяется. После наступления проскальзывания определяется ветвь разгрузки – определяется тангенциальная деформация шины  $\varphi$  при уменьшении крутящего момента  $T$  до нуля. Цикл нагружения-разгрузки повторяется трижды. строится зависимость тангенциальной деформации шины  $\varphi$  от приложенного момента  $T$  и определяется статическая тангенциальная жесткость шины как тангенс угла наклона средней линии (между ветвями нагружения и разгрузки) оси абсцисс

$$C_{\tau} = \frac{T}{\varphi} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

### ***Определение динамической радиальной жесткости шины***

Динамическую радиальную жесткость шины определяют на стенде. Перед проведением испытаний давление в шине устанавливается заданное заводом-изготовителем или программой испытаний (к примеру, при определении зависимости динамической жесткости шины от давления в ней). Перед проведением испытаний рекомендуется провести прогневочный пробег шины.

Схема стенда для определения динамической жесткости и демпфирующих свойств шины представлена на рис. 5.13.

Колесо с испытуемой шиной 4 на балке 2, закрепленной на опоре 5, с возможностью вертикального перемещения вокруг оси опоры 5. Шина опирается на динамометрическую площадку 6. Для изменения момента инерции и, соответственно собственной частоты колебаний системы, колесо с шиной и подвижная масса имеют возможность перемещаться вдоль балки.

Балку приподнимают на малый угол (рис. 5.13) и отпускают, что вызывает колебания балки с колесом и грузом на шине, как на упру-

гом элементе. Высота поднятия оси колеса не должна превышать статическую деформацию шины. Регистрируется сила прикладываемая шиной к динамометрической площадке (рис. 5.14) шиной к динамометрической площадке. За счет демпфирующих свойств шины колебания будут затухающими.

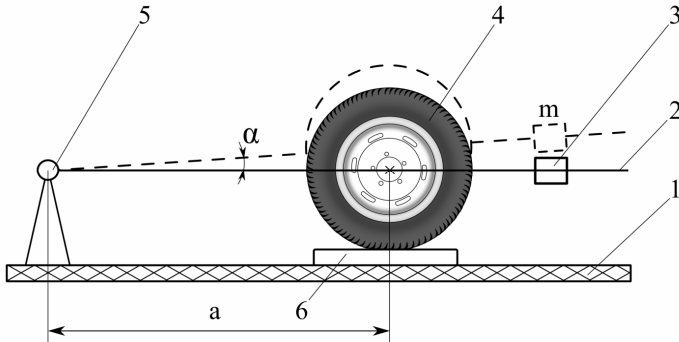


Рис. 5.13. Принципиальная схема стенда для определения динамической жесткости и демпфирующих свойств шин: 1 – основание стенда; 2 – балка; 3 – подвижная масса; 4 – испытываемая шина; 5 – опора; 6 – динамометрическая площадка; а – расстояние между проекцией на горизонтальную плоскость оси колеса и оси опоры 5

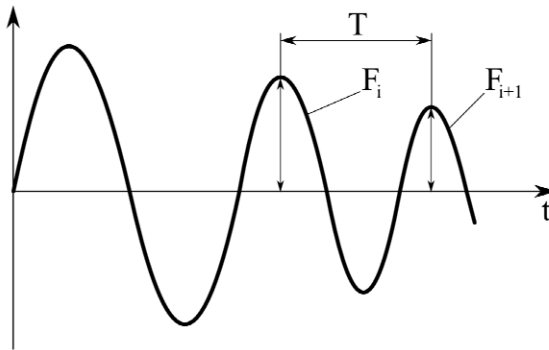


Рис. 5.14. График колебаний системы

Динамическая радиальная жесткость шины определяется

$$C_{др} = \frac{J \cdot (4\pi^2 + d)}{T^2 \cdot a^2},$$

где  $J$  – сумма моментов инерции колесо в сборе с шиной, балки, подвижной массы относительно оси опоры 5;  $d$  – логарифмический декремент затухания колебаний;  $T$  – период колебаний;  $a$  – расстояние между проекциями на горизонтальную плоскость оси колеса и оси 5.

Логарифмический декремент затухания рассчитывается по максимумам амплитуд двух соседних колебаний  $F_i$  и  $F_{i+1}$  (рис. 5.14).

#### 5.4. Определение демпфирующих свойств шины

Демпфирующие свойства шины определяют на стенде. Перед проведением испытаний давление в шине устанавливается заданное заводом-изготовителем или программой испытаний (к примеру, при определении зависимости демпфирующих свойств шины от давления в ней). Перед проведением испытаний рекомендуется провести пробный пробег шины.

Схема стенда для определения демпфирующих свойств шин и методика проведения испытаний изложены в разделе «Определение динамической вертикальной жесткости шины» п. 5.3.

По результатам испытаний (рис. 5.14) рассчитывается коэффициент демпфирования шины.

$$K_{\text{ш}} = \frac{2 \cdot J \cdot d}{T \cdot a}.$$

#### 5.5. Определение характеристик увода шины

При движении автомобиля по криволинейной траектории на колеса автомобиля действуют боковые силы в направлении от центра поворота. Под действием боковой силы на катящееся колесо происходит деформация шины за счет ее боковой эластичности, вследствие чего колесо будет перемещаться под некоторым углом к его плоскости вращения. Этот угол называется углом бокового увода. Боковой увод колеса характеризуется углом бокового увода  $\delta$  под действием боковой силы  $F_y$  и коэффициентом сопротивления боковому уводу  $K$ . Коэффициент сопротивления боковому уводу представляет собой отношение боковой силы к вызываемому ей углу бокового увода

$$K = \frac{F_y}{\delta} \text{ Н/рад.}$$

Коэффициент сопротивления боковому уводу колеса можно определить в дорожных условиях или на стенде с беговым барабаном. Схема стенда с беговым барабаном для определения характеристик увода шины представлена на рис. 5.15 (вид сверху).

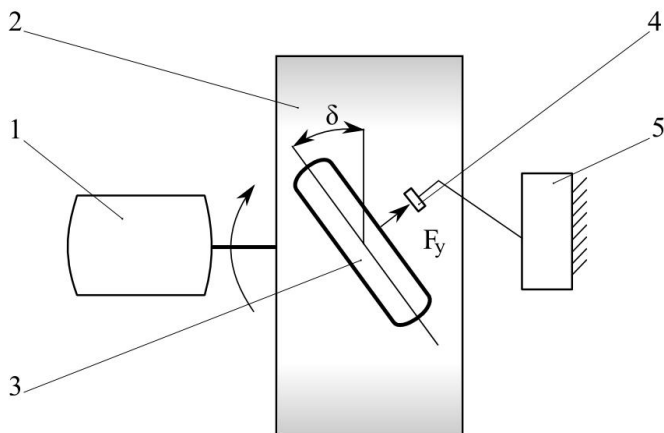


Рис. 5.15. Схема стенда с беговым барабаном для определения характеристик увода шины: 1 – привод стенда; 2 – беговой барабан; 3 – колесо с испытуемой шиной; 4 – датчик силы; 5 – устройство крепления колеса

При проведении испытаний, привод стенда 1 вращает беговой барабан 2 с заданной угловой скоростью, устройство крепления колеса прижимает колесо 3 к барабану с заданным усилием, диаметральной плоскостью колеса повернута относительно диаметральной плоскости бегового барабана на угол  $\delta$ , который в данном случае и будет являться углом бокового увода. При этом вдоль оси вращения колеса будет создаваться боковая сила, замеряемая датчиком силы 4. По замеряемой боковой силе и известному углу увода рассчитывается коэффициент сопротивления уводу. Коэффициент сопротивления уводу на стенде (рис. 5.15) можно определить в зависимости коэффициента сопротивления уводу:

- ширины профиля шины  $B_{ш}$  (рис. 5.16,а);
- давления воздуха в шине  $P_k$  (при нагрузке на шину равной весу автомобиля, приходящегося на одно колесо) (рис. 5.16,б).

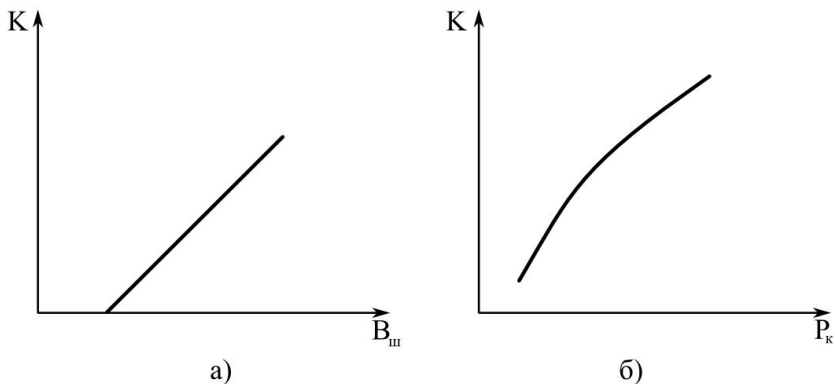


Рис. 5.16. Зависимости коэффициента сопротивления уводу шины от ширины профиля шины (а) и давления в ней (б)

### 5.6. Определение противодействия шины аквапланированию

Аквапланирование – это движение автомобиля по мокрой опорной поверхности в условиях, когда на определенной скорости движения между опорной поверхностью и шиной возникает водяная пленка (рис. 5.17).

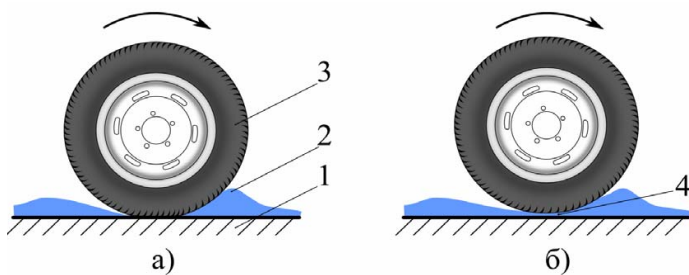


Рис. 5.17. Аквапланирование автомобиля:  
 а) аквапланирование не наступило; б) аквапланирование наступило;  
 1 – опорная поверхность; 2 – вода; 3 – шина; 4 – водяная пленка между шиной и опорной поверхностью

Выход автомобиля на аквапланирование зависит в основном, при прочих равных условиях, от скорости движения автомобиля, рисунка и высоты протектора.

Для проведения испытаний используется дорожный спецучасток автополигона с асфальтовым покрытием в хорошем состоянии и системой непрерывной и равномерной подачи воды на поверхность дороги.

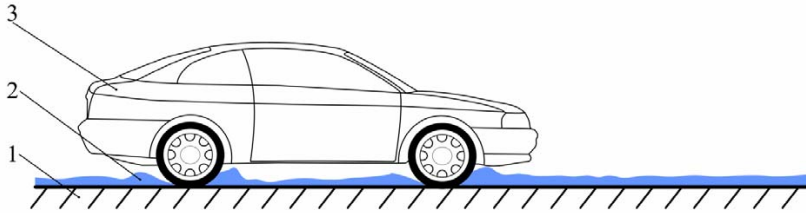


Рис. 5.18. Испытания по определению противодействия шин аквапланированию: 1 – опорная поверхность; 2 – вода; 3 – автомобиль

Автомобиль с испытуемым типом шин предварительно должен пройти обкатку, а в день проведения испытаний прогревочный пробег. Температура воздуха, скорость движения автомобиля должны соответствовать программе испытаний.

Автомобиль на испытуемых шинах, накаченных до указанного в программе испытаний давления, въезжает на мокрый участок опорной поверхности на постоянной скорости. Заезд выполняется в одну и другую стороны. От заезда к заезду скорость движения автомобиля увеличивается, пока не наступит аквапланирование.

Выход автомобиля на аквапланирование определяется водителем-испытателем экспертно по поведению автомобиля или по приборам – по изменению курсового угла автомобиля.

### 5.7. Определение износостойкости шины

Износостойкость шин оценивают по интенсивности износа рисунка наиболее изнашиваемой части беговой дорожки протектора, выраженной в миллиметрах износа на 1000 км пробега (ГОСТ 28169).

Для проведения испытаний определяется трасса с замкнутым маршрутом движения состоящая из участков опорной поверхности наиболее характерных для возможной эксплуатации испытуемых шин.

Перед началом испытаний проверяют техническое состояние автомобиля в соответствии с заводской инструкцией по эксплуатации.

Особенно тщательно контролируют углы установки управляемых колес, наличие люфтов в рулевом управлении, состояние амортизаторов, работоспособность тормозной системы. Определяют распределение массы полностью груженого автомобиля по колесам.

Техническое обслуживание автомобиля во время испытаний проводят в соответствии с заводской сервисной книжкой.

Каждую шину перед испытанием взвешивают, маркируют порядковым номером, который наносят нестираемой краской с обеих сторон, и после монтажа, балансируют. Высоту рисунка протектора измеряют не менее, чем в четырех сечениях шины (рис. 5.19), отмечаемых краской на шине.

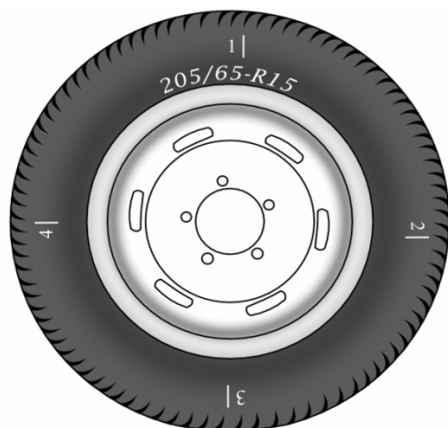


Рис. 5.19. Схема отметок на сечениях шины

В каждом сечении по ширине беговой дорожки выбирают не менее двух мест измерения высоты рисунка протектора в центральной части беговой дорожки и не менее двух по краям. Схему расположения мест измерений по ширине беговой дорожки в сечениях заносят в программу испытаний. Высоту рисунка протектора измеряют всегда в одних и тех же местах.

В процессе испытаний проводят перестановку шин. Схему перестановки шин определяют так, чтобы шина совершила одинаковый пробег в каждой из позиции на автомобиле, с периодическим изменением направления вращения колеса (если на шине направленный ри-

сунок протектора, то направление вращения шины всегда одинаково в соответствии с указателем направления на боковине).

Ежедневно перед началом испытаний шины осматривают и проверяют давление в них, при необходимости доводят до нормы. Испытания проводят на скоростях максимально возможных по условиям безопасности на данном дорожном участке, если иное не оговорено программой испытаний.

Ежедневно после окончания испытаний фиксируют дневной пробег, среднюю техническую скорость движения автомобиля, температуру воздуха, наличие осадков, состояние покрытия опорной поверхности, результаты измерения высоты рисунка протектора (рис. 5.20) во всех точках сечения шин. После замера определяют оставшуюся высоту рисунка протектора для каждой шины автомобиля и в среднем для всех шин автомобиля. Строят график изменения средней высоты рисунка протектора шин автомобиля от пробега.

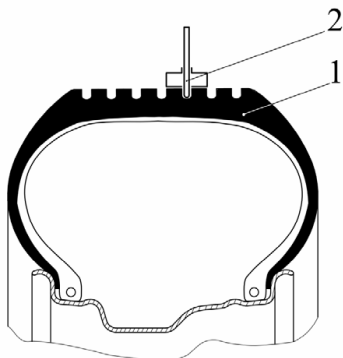


Рис. 5.20. Измерение высоты рисунка протектора шины:

1 – шина; 2 – прибор для определения высоты рисунка протектора шины

Согласно техническому регламенту «О безопасности колесных транспортных средств» высота рисунка протектора шин должна быть, к примеру, для легковых автомобилей категории М1 – не менее 1,6 мм.

Как правило, в пробеговых испытаниях шин участвуют несколько автомобилей. Износостойкость испытуемых шин (пробег до предельного износа) определяют в среднем по всем автомобилям.



## 5.8. Испытания колес

Автомобильные колеса испытывают на: долговечность при изгибе с вращением, долговечность при динамической радиальной нагрузке, удар под углом  $30^\circ$  и другие.

### *Испытание колеса на долговечность при изгибе с вращением*

При испытании колеса на долговечность при изгибе с вращением имитируются нагрузки на колесо при движении автомобиля по криволинейной траектории. Принципиальная схема стенда для испытания колеса на долговечность при нагружении изгибом с вращением представлена на рис. 5.21.

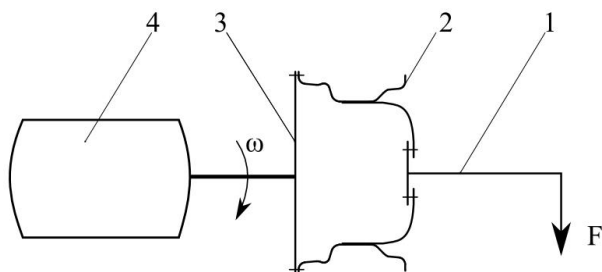


Рис. 5.21. Принципиальная схема стенда для испытания колеса на долговечность при нагружении изгибом с вращением: 1 — устройство для создания изгибной нагрузки с датчиком силы; 2 — испытываемое колесо; 3 — вращающееся основание стенда; 4 — электромеханический привод с датчиком угловой скорости

Испытания проводят с изгибающей нагрузкой  $F$  и угловой скоростью вращения колеса  $\omega$ , заданными в программе испытаний. Колесо испытывают по двум ступеням изгибающей нагрузки. На каждой ступени должно быть испытано два колеса. Оценочным показателем предельного состояния колеса после проведения всего цикла испытаний является появление трещин и разрывов, обнаруживаемых визуальным осмотром.

### *Испытание колеса на долговечность при действии динамической радиальной нагрузки*

Испытание долговечности колеса при действии динамической радиальной нагрузки проводится на стенде с беговым барабаном (рис. 5.22), где имитируется движение автомобиля по прямой.

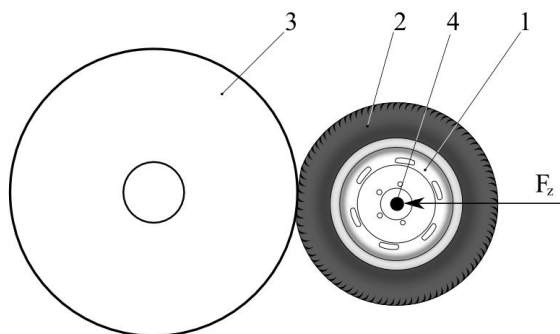


Рис. 5.22. Схема стенда с беговым барабаном: 1 – испытуемое колесо; 2 – шина; 3 – беговой барабан; 4 – детали крепления колеса

Перед проведением очередного заезда проверяется давление в шине. Давление должно соответствовать заводской инструкции по эксплуатации автомобиля все время проведения испытаний. Продолжительность испытаний – число оборотов колеса или пройденный им путь задается программой испытаний. Колесо считается прошедшим испытание на долговечность при действии динамической радиальной нагрузки, если проведения всего цикла испытаний в нем отсутствуют усталостные трещины.

#### ***Определение сопротивления колеса удару***

Испытания проводят с целью оценки прочностных характеристик колеса. Схема стенда для определения сопротивления колеса удару представлена на рис. 5.23.

При проведении испытаний колесо в сборе с шиной крепится на стенде под углом  $30^\circ$  к горизонтальной плоскости. Давление в шине должна соответствовать заданной в заводской инструкции по эксплуатации автомобиля. Груз подвешивается на высоте  $h$  над верхним краем шины и свободно отпускается с помощью механизма быстрой разгрузки.

Груз состоит из двух масс - малой 4 и основной 7 с пружинами 6 между ними. Перемещение малой массы 4 относительно основной массы 7 обеспечивается серьгами 5.

Груз сбрасывается на колесо в сборе с шиной, после чего колесо осматривается. Критериями разрушения колеса являются – види-

мые трещины, отделение диска от обода, полное падение давления в бескамерной шине за одну минуту. Расстояние между грузом и краем шины  $h$ , величины малой и основной масс, жесткости пружин задаются в программе испытаний.

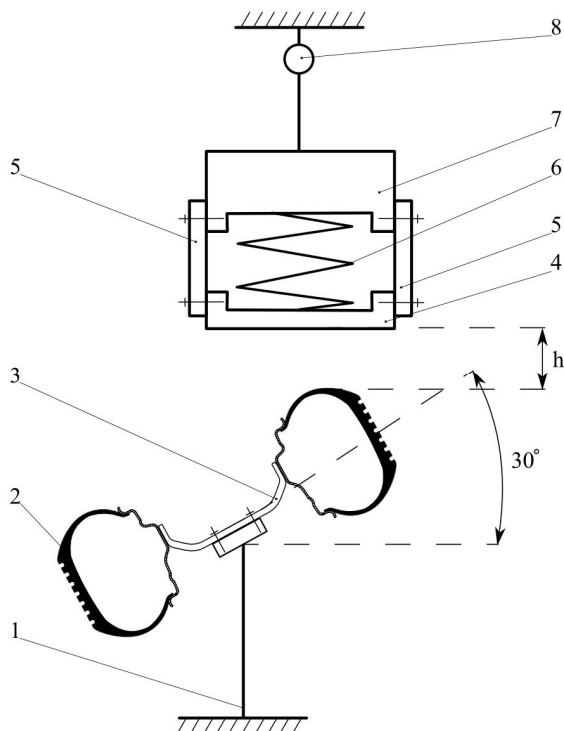


Рис. 5.23. Схема стенда для определения сопротивления колеса удару:  
 1 – опора стенда; 2 – шина; 3 – испытуемое колесо; 4 – малая масса;  
 5 – серьга; 6 – пружина; 7 – основная масса;  
 8 – механизм быстрой разгрузки

### 5.9. Дорожные испытания шин и колес

На дорогах с различным покрытием оценивается шумность шин при различных скоростях движения. Оценивается способность шин сохранять сцепные свойства на мокрой, загрязненной мокрой опорной поверхности.

В дорожных условиях оцениваются износные свойства шин измерением глубины рисунка протектора в заданных сечениях (через определенный пробег).

Оценивается температурная нагруженность поверхности шины в заданных сечениях (через определенный пробег).

Режимометрирование шин и колес проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании несущих шин и колес могут измеряться и регистрироваться:

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля (если движется);
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- давление в шинах (при движении автомобиля);
- механические напряжения в элементах колеса и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании шин и колёс. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний шин и колес.

---

## 6. ИСПЫТАНИЯ РАМ, КУЗОВОВ И КАБИН

---

Несущая система автомобиля может представлять собой раму; раму, кабину и кузов; несущий кузов. В данной главе испытания рам, кузовов и кабин рассматриваются на примере несущего кузова легкового автомобиля.

Значительная часть испытаний кузова легкового автомобиля, его механизмов, систем и навесных узлов проводится на стендах. Ускоренные ресурсные испытания кузова проводятся на спецучастках дорог автополигона с булыжным и разбитым булыжным покрытием. Дорожные испытания кузова могут проводиться на дорогах и спецучастках дорог автополигона или на дорогах общего пользования. Скоростные режимы, весовые состояния, метеоусловия, дорожные условия, рельеф местности задаются в программе испытаний.

### 6.1. Стендовые испытания несущего кузова

- Стендовые испытания несущего кузова проводятся на стендах:
- со статическим нагружением на изгиб, кручение и носят оценочный характер прочности и жесткости;
  - с динамическим нагружением для определения долговечности кузова.

#### 6.1.1. Испытания несущего кузова на стендах со статическим нагружением

##### *Испытание на изгиб*

При испытании на изгиб оцениваются жесткостные, прочностные свойства кузова, его способность сохранять геометрию дверных проемов под действием приложенных нагрузок. Испытаниям подвергается, как правило, каркас кузова без его навесных узлов и механизмов, агрегатов автомобиля, узлов и деталей интерьера и т.д.

Каркас кузова (далее кузов) устанавливается на опорах, крепящихся к кузову в точках крепления упругих элементов подвески (рис. 6.1).

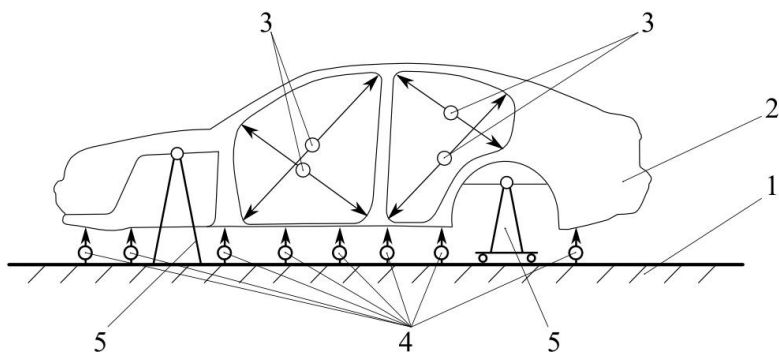


Рис. 6.1. Схема стенда для испытания несущего кузова автомобиля на изгиб:  
1 – основание стенда; 2 – испытуемый кузов; 3 – датчики деформации дверных проемов; 4 – датчики деформации основания кузова; 5 – опоры кузова

В дверных проемах, устанавливаются датчики, фиксирующие их деформацию под действием приложенных к кузову нагрузок. Устанавливаются датчики деформации основания кузова под всей поверхностью основания. В моторный отсек, в пассажирский салон в багажник укладываются мешки с дробью по весу узлов, агрегатов, оборудования, устанавливаемых в автомобиле. Фиксируют деформацию основания кузова автомобиля, дверных проемов. Укладывают мешки с дробью, имитируя динамическую нагрузку на кузов, к примеру, при переезде неровности. Фиксируют деформацию основания кузова автомобиля, дверных проемов. Коэффициент перегрузки задается в программе испытаний.

Оценивают деформацию основания кузова, полученную в статическом и квазидинамическом режимах. Оценивают деформацию дверных проемов. Для определения мест действия наивысших механических напряжений в каркасе кузова применяют метод хрупких покрытий. Для количественного определения значений механических напряжений в каркасе кузова наклеивают розетки тензодатчиков.

### Испытание на кручение

Одной из основных характеристик кузова легкового автомобиля является жесткость на кручение. Для определения жесткости несущего кузова легкового автомобиля на кручение кузовов 1 полностью собранного автомобиля без передней и задней подвески устанавливают на стенде (рис. 6.2). К местам крепления упругих элементов одной оси крепятся жесткие стойки 4. К местам крепления упругих элементов другой оси крепится перевернутая П-образная балка, с консолью 2, опирающаяся на центральную жесткую стойку 3.

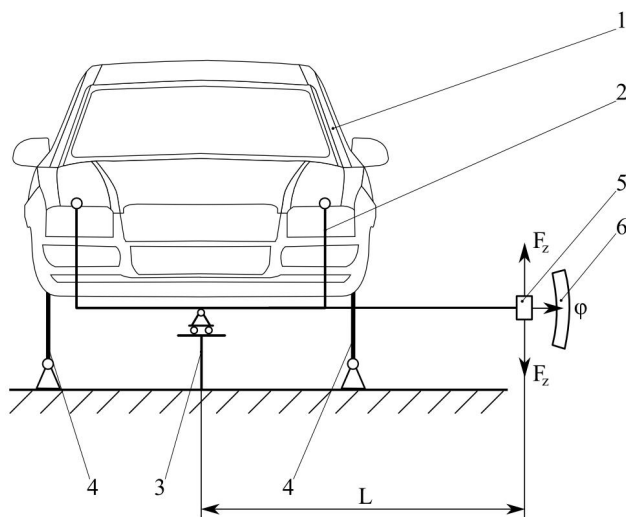


Рис. 6.2. Схема стенда для испытания несущего кузова на кручение:  
1 – испытуемый кузов; 2 – П-образная балка с консолью;  
3 – передняя центральная жесткая стойка; 4 – задние жесткие стойки;  
5 – датчик силы; 6 – датчик угла поворота

К консоли П-образной балки прикладывается усилие, скручивающее кузов. Величина усилия определяется датчиком силы 5, угол закручивания кузова датчиком угла поворота 6. Кузов закручивается минимум трижды в направлении по часовой стрелке и минимум трижды – против. Нагрузочные режимы задаются в программе испытаний.

По результатам испытаний определяется жесткость кузова на кручение.

$$C = \frac{F_z \cdot L}{\varphi} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

Полученная жесткость кузова на кручение сравнивается с заданной в конструкторской документации. Определяется жесткость кузова на кручение, как нового автомобиля, так и после ресурсных испытаний.

### 6.1.2. Испытание несущего кузова на стенде с динамическим нагружением

На стенде с динамическим нагружением испытывается полнокомплектный автомобиль. Автомобиль устанавливается колесами на опоры, закрепленные на штоках вертикальных гидроцилиндров двустороннего действия (рис. 6.3).

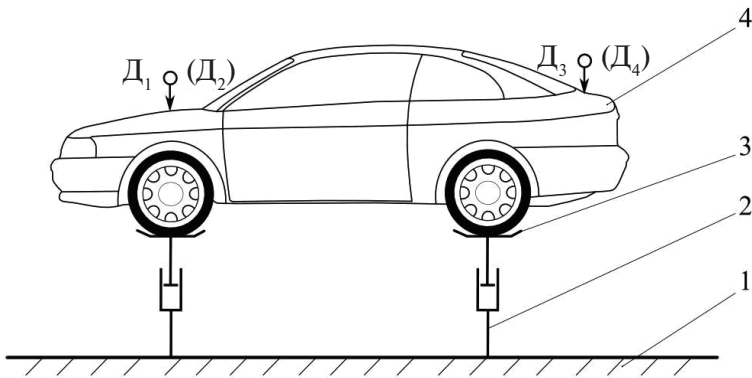


Рис. 6.3. Принципиальная схема стенда с динамическим нагружением:  
 1 – основание стенда; 2 – гидроцилиндр двустороннего действия;  
 3 – опора колеса; 4 – испытуемый кузов

Перед проведением испытаний на долговечность кузова определяется его жесткость на кручение на этом же стенде. Диск каждого колеса струбциной фиксируется на опоре так, чтобы шина не могла оторваться от опоры. Спереди над левым и правым крыльями устанавливаются датчики перемещений  $D_1$  и  $D_2$ , сзади – датчики  $D_3$  и  $D_4$ . Датчик может крепиться к нижней кромке крыла над колесом.

Эти датчики определяют вертикальное перемещение соответствующих точек кузова. Один из гидроцилиндров с заданным шагом по силе прикладывает вертикальную нагрузку к колесу. Разница показаний дат-



чиков  $D_1$  и  $D_2 - \Delta h_{II}$  и известное расстояние между ними, датчиков  $D_3$  и  $D_4 - \Delta h_3$  и известное расстояние между ними позволяют определить угол закручивания кузова  $\varphi$  под действием приложенной нагрузки.

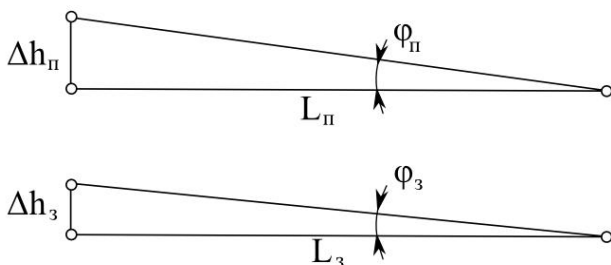


Рис. 6.4. Определение угла закручивания кузова:

$$\varphi = \varphi_{II} - \varphi_3 = \arctg(\Delta h_{II}/L_{II}) - \arctg(\Delta h_3/L_3)$$

Момент  $T$  скручивающий кузов определяется как произведение усилия  $F_z$  создаваемого гидроцилиндром на ширину колеи  $B_{ш}$  оси к которой прикладывается нагрузка.

$$T = F_z \cdot B_{ш}$$

По результатам замеров определяется жесткость кузова на кручение (п. 6.1.1).

В процессе испытаний кузова на долговечность с помощью гидроцилиндров создают вертикальные нагрузки, на каждое колесо автомобиля, имитируя движение по дороге определенного профиля с заданной скоростью.

Через определенные промежутки времени или число циклов испытания останавливают, осматривают кузов на наличие трещин, определяют его жесткость на кручение.

После окончания всего цикла испытаний определяют жесткость кузова на кручение, сравнивают с заданной в конструкторской документации, определяют наличие трещин в элементах кузова.

Кузов признается прошедшим испытания на долговечность, если падение его жесткости на кручение не превышает заданную в конструкторской документации, на элементах кузова нет трещин.

Испытания несущего кузова на стенде с динамическим нагружением это комплексные испытания, одновременно проходят ис-

пытание на долговечность ступицы колес от действия вертикальных нагрузок, подвеска; на появление вибраций скрипов испытываются оборудование, обивка кузова.

## **6.2. Испытание механизмов кузова легкового автомобиля**

К механизмам кузова легкового автомобиля относят: петли, замки, ограничители открывания дверей; замок, упор капота, механизм крепления капота к кузову; замок крышки багажника, механизм крепления крышки багажника к кузову, механизм удержания крышки багажника в поднятом состоянии; стеклоподъемники и др. Испытания механизмов кузова проводят на стенде.

На стенде имитируются нагрузочные режимы, полученные при режимометрировании автомобиля — аналога в дорожных условиях. К примеру, рассмотрим испытания петель, замков, стеклоподъемников дверей. Для ресурсных испытаний петель, замков дверей, дверь с рамкой двери, иногда в составе кузова, закрепляется на стенде. Дверь на стенде оснащается гидромеханическими, пневмомеханическими или электромеханическими приводами открывания замка двери, открывания-закрывания двери. Число циклов открывания замка, открывания-закрывания двери, угол открывания двери задается в программе испытаний. Испытания проводятся до завершения всего цикла испытаний или до потери работоспособности любого испытываемого механизма. После завершения испытаний определяется износ петель дверей, разбираются и дефектуются замки двери.

Могут проводиться испытания замков дверей в составе полнокомплектного кузова в термокамере при отрицательной температуре после мойки автомобиля. Оценивается возможность открывания замка двери.

Одновременно с испытанием петель двери могут проходить ресурсные испытания ограничители открывания двери.

При ресурсном испытании стеклоподъемника двери, вместо ручки стеклоподъемника устанавливается электромеханический привод. Привод опускает стекло на заданную высоту, вплоть до полного опускания и поднимает его. Высота опускания и число циклов опускания и поднятия на заданную высоту определяются программой испытаний.

Испытания проводятся до завершения всего цикла испытаний или до потери работоспособности стеклоподъемника. После завершения испытаний стеклоподъемник разбирается, детали дефектуются.

### **6.3. Испытание систем кузова легкового автомобиля**

К системам кузова легкового автомобиля относятся: система отопления, система вентиляции, система кондиционирования, противощумная система, ремни безопасности, подушки безопасности и др.

К примеру, при испытании мест крепления ремней безопасности в кузове на прочность имитируется их нагружение при фронтальном столкновении автомобиля. К закрепленному в штатных точках в кузове автомобиля ремню безопасности прикладывается статическая нагрузка аналогичная той, которую оказывает тело человека на ремень при фронтальном столкновении автомобиля. Сиденье устанавливается в такое положение, которое наиболее неблагоприятно с точки зрения прочности системы. Все приспособления для крепления ремня безопасности должны выдержать испытания на статическое нагружение. Величина статической нагрузки оговаривается в программе испытаний.

### **6.4. Испытание оборудования кузова легкового автомобиля**

К оборудованию и отделке кузова относятся: панель приборов, обивка крыши и пола, полка багажника, сиденья и т. д.

Рассмотрим испытания оборудования кузова на примере переднего сиденья. Как правило, водитель или передний пассажир усаживаются на подушку сиденья спиной или в полоборота и, затем, перемещаясь к центру сиденья, поворачиваются в положение посадки вдоль подушки сиденья и, перемещаясь вперед или назад, опираются на спинку сиденья. Схема стенда для испытания подушки сиденья на долговечность упругого основания подушки и износостойкость обивки подушки представлена на рис. 6.5.

При испытании подушки сиденья 1 (рис. 6.5) имитируются все этапы посадки человека.

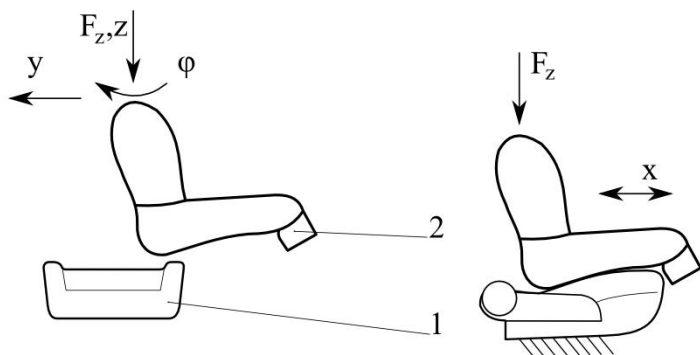


Рис. 6.5. Схема стенда для испытания подушки сиденья:  
1 – подушка сиденья в сборе; 2 – манекен

Число циклов нагружения, усилие прижатия  $F_z$  манекена, линейные  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и угловое  $\phi$  перемещения манекена задаются в программе испытаний. Перед проведением испытаний определяется вертикальная жесткость подушки сиденья. Подушка сиденья считается прошедшей испытание, если не разрушился ее каркас, нет разрывов обивки, вертикальная жесткость осталась в пределах заданных в конструкторской документации.

При движении автомобиля возникают продольные колебания тела человека сидящего в нем, что создает циклическое нагружение спинки сиденья и механизма регулирования наклона спинки. Схема стенда для испытания спинки сиденья на долговечность от действия циклических изгибающих нагрузок представлена на рис. 6.6.

Нагружающее устройство 4 (рис. 6.6) создает циклические изгибающие нагрузки спинки сиденья 3. Усилие, создаваемое нагружающим устройством, и число циклов испытаний задаются в программе испытаний. Испытания продолжаются до поломки каркаса спинки сиденья или до окончания всего цикла испытаний. Весь цикл испытаний должен выдержать и механизм регулирования наклона спинки.

Существуют методики и стенды для испытания на долговечность механизмов регулирования наклона подушки сиденья, наклона спинки сиденья, продольного перемещения сиденья и других.

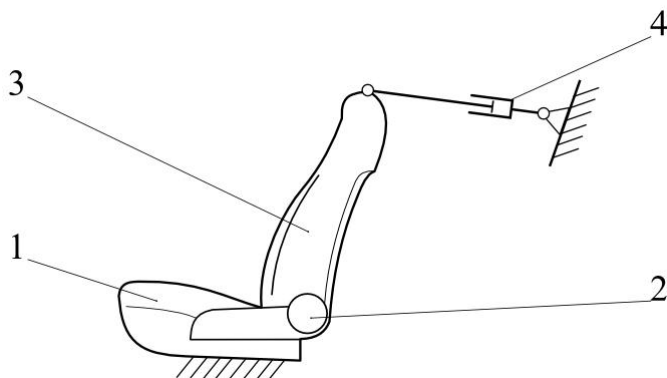


Рис. 6.6. Схема стенда для испытания спинки сиденья на долговечность от действия циклических изгибающих нагрузок: 1 – каркас подушки сиденья; 2 – механизм регулирования наклона спинки сиденья; 3 – спинка сиденья в сборе; 4 – нагружающее устройство

### 6.5. Испытание навесных узлов кузова легкового автомобиля

К навесным узлам кузова относят компоненты кузова которые можно с него снять без разрушения кузова и компонента: дверь, капот, крышка багажника, лючок бензобака, реллинг, решетка радиатора, бампер и т. д.

Испытания навесных узлов кузова проводят в основном на прочность и долговечность.

К примеру, бампер в составе полнокомплектного автомобиля испытывается на продольный удар (рис. 6.7) и удар по углам (рис. 6.8).

При испытании бампера на продольный удар полнокомплектный автомобиль 1 (рис. 6.7) с пассажирами (манекенами), размещенными в салоне в соответствии с методикой проведения испытаний, устанавливается на горизонтальной площадке с выключенной передачей в коробке передач и отпущенными тормозами. Ударное устройство 3 имитирует наезд на стоящий автомобиль другого автомобиля, движущегося со скоростью 4 км/час. Ударный элемент может быть установлен на тележке или на маятниковом устройстве.

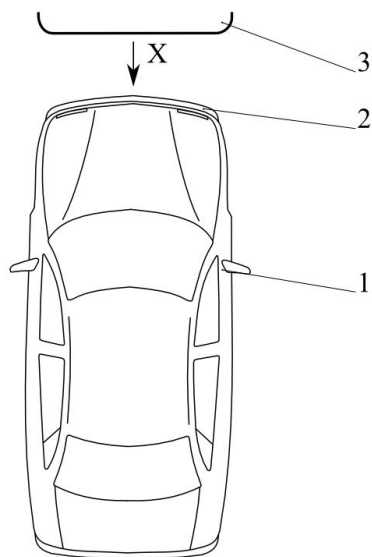


Рис. 6.7. Испытание бампера на продольный удар:  
1 – автомобиль; 2 – испытуемый бампер; 3 – ударное устройство

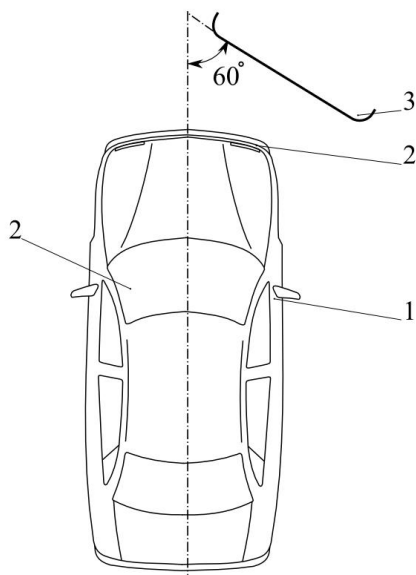


Рис. 6.8. Испытание бампера на удар по углам:  
1 – автомобиль; 2 – испытуемый бампер; 3 – ударное устройство;  
4 – средняя продольная плоскость автомобиля

При испытании на удар по углам имитируется кософронтальный наезд другого автомобиля (рис. 6.8).

Удар наносится при скорости 2,5 км/час. Поперечная плоскость ударного устройства располагается под углом 60° к средней продольной плоскости автомобиля. При любом из этих ударов допускается повреждение бампера, но после каждого из испытаний устройства освещения и сигнализации должны быть работоспособны и заметны: капот, крышка багажника, боковые двери должны открываться и закрываться; в системах питания и охлаждения не должно быть утечки и т. д.

### **6.6. Дорожные испытания рам, кузовов и кабин**

Движение по дорогам с неровным покрытием на разных скоростях позволяют выявить наличие и, затем, источники вибраций и шумов (так называемые «сверчки») в салоне легкового, в кабине грузового автомобиля, в салоне автобуса. Испытания в специальных сооружениях автополигонов — дождевые и пылевые камеры, водные и грязевые бассейны дают возможность оценить герметичность салона, а при включении систем вентиляции или климатической установке — защищенность салона от проникновения через них пыли и влаги.

Режимометрирование рам, кузовов и кабин проводится в дорожных условиях. Общие условия проведения режимометрирования приведены во введении.

При режимометрировании кузова легкового автомобиля могут измеряться и регистрироваться (даже на стоящем автомобиле с выключенным зажиганием):

- текущее время;
- мгновенная скорость движения автомобиля (если движется);
- путь, пройденный автомобилем;
- температура окружающего воздуха;
- факт открывания каждой из дверей (по срабатыванию концевого датчика);
- факт открывания капота, крышки багажника или задней двери;
- факт посадки в автомобиль водителя, каждого из пассажиров (датчики на сидениях) и время их пребывания в автомобиле;
- механические напряжения в силовых элементах сидений;

- механические напряжения на панелях кузова;
- положение регулируемых элементов сидений;
- режим и продолжительность работы на нем климатической системы или системы отопления и вентиляции;
- открытие- закрытие перчаточного ящика;
- опускание-поднятие каждого из стекол;
- включение-выключение обогрева сидений, зеркал, стекол;
- включение-выключение системы регулировки зеркал и др.

Все вышеперечисленные параметры или часть из них должны одновременно измеряться и регистрироваться. С другой стороны, это далеко не полный перечень параметров которые могут фиксироваться при режимометрировании рам, кузовов и кабин. Перечень измеряемых и регистрируемых параметров определяется программой испытаний.

После завершения всех этапов режимометрирования полученные результаты обрабатываются, подвергаются статистической обработке, так чтобы их можно было использовать как исходные данные для формирования нагрузочных режимов стендовых и виртуальных испытаний рам, кузовов и кабин.



### **Библиографический список**

1. Безверхий, С.Ф Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей / С.Ф. Безверхий, Н.Н. Яценко. – М. : Издательство стандартов, 1996. – 600 с.
2. Куров, Б.А. Испытания автомобилей : учебник для техникумов / Б.А. Куров, С.А. Лаптев, И.В. Балабин. – М. : Машиностроение, 1976. – 208 с.
3. Испытания автомобилей: учебное пособие для студентов вузов / В.Б. Цимбалин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – 199 с.

## Содержание

Введение .....	3
1. ИСПЫТАНИЯ ТРАНСМИССИИ .....	5
1.1. Общие виды испытаний .....	5
1.2. Испытания сцепления .....	13
1.3. Испытания коробки передач .....	32
1.4. Испытание раздаточной коробки .....	42
1.5. Испытания приводных и карданных валов .....	42
1.6. Испытания ведущего моста .....	48
2. ИСПЫТАНИЯ ПОДВЕСКИ .....	52
2.1. Испытания подвески в сборе .....	52
2.2. Испытания упругого элемента .....	57
2.3. Испытания демпфирующего элемента .....	60
2.4. Испытания опор, шарниров .....	64
2.5. Испытания направляющего устройства подвески .....	72
2.6. Дорожные испытания подвески .....	73
3. ИСПЫТАНИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	75
3.1. Определение усилия на рулевом колесе .....	75
3.2. Определение передаточного отношения рулевого управления .....	76
3.3. Определение жесткости на кручение рулевого управления .....	78
3.4. Испытания рулевого колеса .....	80
3.5. Испытание рулевой колонки .....	81
3.6. Испытания рулевого вала .....	83
3.7. Испытания рулевого механизма .....	85
3.8. Испытания рулевого привода .....	89
3.9. Дорожные испытания рулевого управления .....	90
4. ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ .....	92
4.1. Определение тормозных сил на колесах .....	92
4.2. Испытание тормозного механизма и тормозного привода рабочей тормозной системы на стенде с нагружением от маховых масс .....	95

4.3. Испытание тормозного механизма рабочей тормозной системы .....	97
4.4. Испытание тормозного привода рабочей тормозной системы .....	98
4.5. Испытание стояночной тормозной системы .....	98
4.6. Дорожные испытания тормозной системы .....	99
5. ИСПЫТАНИЯ ШИН И КОЛЕС .....	101
5.1. Определение коэффициента сопротивления качению шины.....	101
5.2. Определение сцепных свойств шины .....	110
5.3. Определение упругих свойств шины .....	113
5.4. Определение демпфирующих свойств шины .....	118
5.5. Определение характеристик увода шины .....	118
5.6. Определение противодействия шины аквапланированию .....	120
5.7. Определение износостойкости шины .....	121
5.8. Испытания колес .....	124
5.9. Дорожные испытания шин и колес .....	126
6. ИСПЫТАНИЯ РАМ, КУЗОВОВ И КАБИН.....	128
6.1. Стендовые испытания несущего кузова.....	128
6.2. Испытание механизмов кузова легкового автомобиля.....	133
6.3. Испытание систем кузова легкового автомобиля.....	134
6.4. Испытание оборудования кузова легкового автомобиля.....	134
6.5. Испытание навесных узлов кузова легкового автомобиля..	136
6.6. Дорожные испытания рам, кузовов и кабин.....	138
Библиографический список .....	140

Учебное издание

*Соломатин Николай Сергеевич*

ИСПЫТАНИЯ УЗЛОВ, АГРЕГАТОВ  
И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ

Учебное пособие

Редактор *Е.Ю. Жданова*  
Технический редактор *З.М. Малявина*  
Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*  
Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 05.03.2013. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 8,31.

Тираж 200 экз. Заказ № 1-13-12.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

