

## 11. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТЯГОВО-СКОРОСТНЫЕ СВОЙСТВА

Тягово-скоростные свойства определяют способность автомобиля достигать наибольшую скорость движения на отдельных участках пути и среднюю скорость на маршруте в заданных дорожных условиях. Эта способность зависит от тяговых и тормозных характеристик автомобиля, от параметров подвески, от управляемости и устойчивости, от квалификации водителя и многих других факторов, но в общем случае можно считать, что средняя скорость при переменном режиме движения определяется максимальной скоростью движения, интенсивностью разгона, то есть приёмистостью, тяговыми и тормозными параметрами.

**Максимальная скорость** автомобиля определяется на высшей передаче в коробке передач при разгоне до достижения установившейся максимальной скорости при въезде на измерительный участок. Разгон и прохождение мерного участка производится при полной подаче топлива. Как правило, испытания проводятся на автополигоне НАМИ, где на прямой, ровной (без продольных и боковых уклонов) 5-ти километровой дороге, в центре которой расположен мерный участок длиной в 1 км, при отсутствии продольного и бокового ветра производится измерение времени прохождения этого мерного участка. Двухкилометровые участки до и после мерного 1 км служат соответственно для разгона и торможения автомобиля. Время фиксируется с повышенной точностью фотоэлементными часами (фотостворотами), показанными на рисунке 81. Заезды повторяются в противоположных направлениях и высчитывается среднее значение.



Рис. 81. Фотостворы

Максимальная скорость  $V_{max} = 1/t \cdot 3600$  (км/ч),  
где  $t$  — время прохождения мерного однокилометрового участка в секундах.  
Для этих испытаний допускается специальная подготовка автомобиля.

**Приёмистость** (*путь, время и ускорение разгона*) определяется путём разгона автомобиля с места и с хода. Разгоны с места выполняются с переключением передач, воспроизводя процесс трогания автомобиля и достижения требуемой скорости с наиболее возможной интенсивностью, то есть при полной подаче топлива. Разгоны на отдельных передачах производятся с начальной заданной скорости до максимальной.

Для грузовых автомобилей разгон начинается со второй передачи. Для определения пути, времени и скорости разгона автомобиля применяются различные приборы, среди которых традиционным является прибор «пятое колесо», который шарнирно крепится сзади (реже сбоку) к автомобилю и позволяет записывать эти параметры (рис. 82).

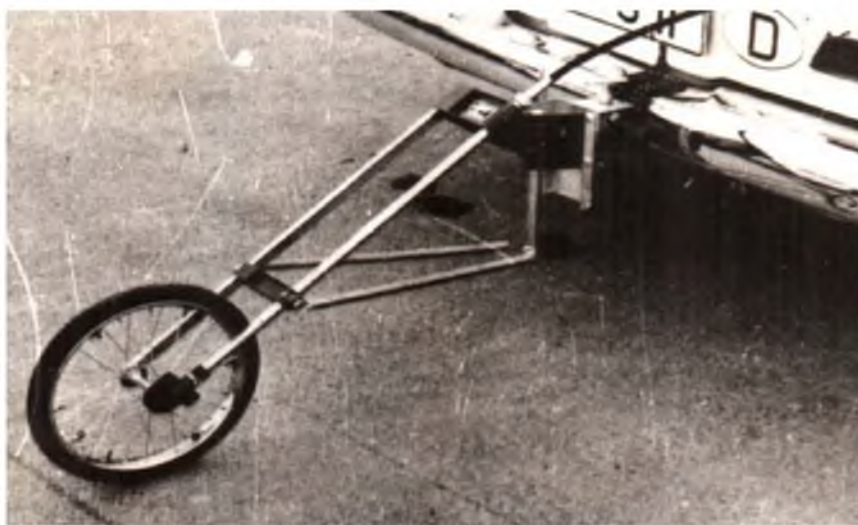


Рис. 82. «Пятое колесо» фирмы Peiseler

Записывающий прибор (старой модели – механический с часовым механизмом), который ещё называется «путь – время – скорость», приводится в действие от «пятого колеса» через гибкий вал. За пройденный 1 км «пятым колесом» гибкий вал делает 1000 оборотов. Самопишущий прибор с записью измеряемых процессов на бумажную графлённую ленту с помощью карандашей или других средств в каждый момент фиксирует пройденный путь, время и среднюю скорость за пройденный путь.

Последние модели приборов «путь – время – скорость» измерения выдают в цифровой форме с индикацией на световом табло. Современные записывающие приборы электронного типа обладают несравненно большими возможностями по фиксации записываемых параметров, по быстродействию и точности. «Пятое колесо» во время движения передаёт вращение фотоэлектрическому датчику, формирующему электрические импульсы, пропорциональные скорости и отмечающие пройденный путь. Электронная система фиксирует величины скорости в заданные моменты разгона, а также формирует импульсы времени и пути.

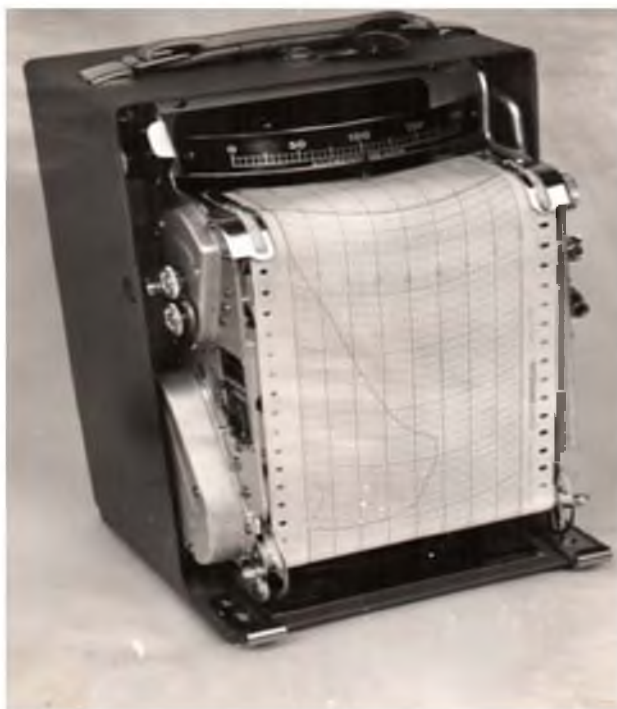


Рис. 83. Регистрирующий прибор «пятого колеса»

При определении динамических качеств автомобиля иногда требуется контролировать величину ускорений в любой момент времени. Для этого используются приборы, показывающие текущее значение ускорений – акселерометры (рис. 84)..

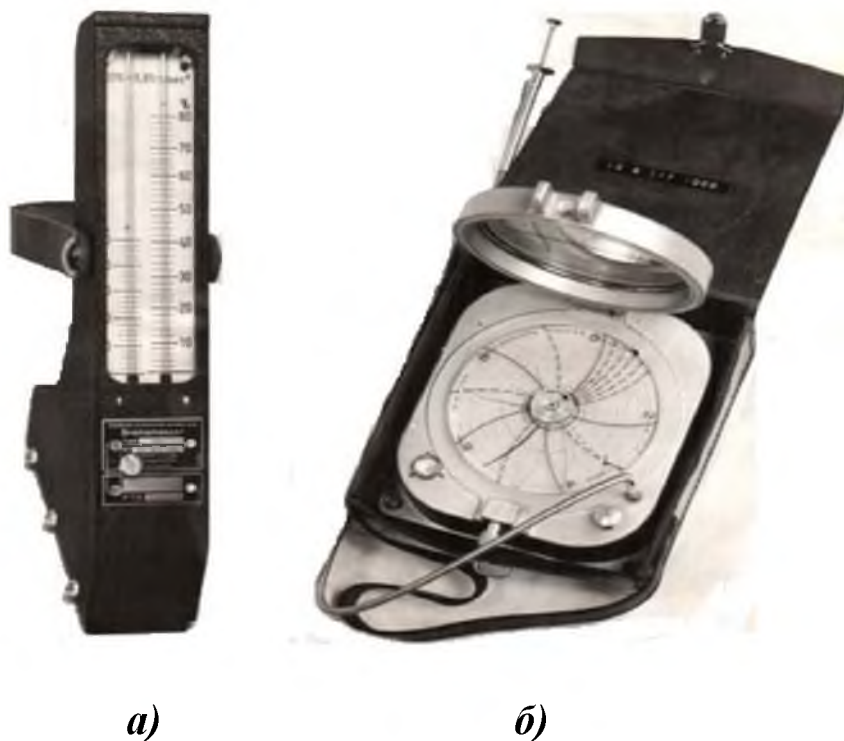


Рис. 84. Акселерометры:  
*a)* – жидкостный, *б)* – электронный  
 248

У гидравлического акселерометра нижняя часть сосуда заполнена ртутью, верхняя маслом, одна шкала – ускорение, вторая – замедление. При ускорении ртуть, как тяжёлая жидкость, смещается и вытесняет подкрашенное масло в указательную трубку ускорений, при замедлении ртуть смещается в другую сторону и вытесняет масло в трубку замедления.

В электронных акселерометрах используется принцип тензометрирования. В них на изгибной балке с тензодатчиками расположен грузик, который изгибает балку при ускорении в одну сторону, а при замедлении – в другую. Датчики, включённые в измерительную систему, выдают сигнал, адекватный измеряемой величине (ускорению или замедлению).

**Тяговые характеристики автомобилей** при оценке их динамических качеств определяются в соответствии с действующими нормативными документами, они строго регламентированы и проводятся по общепринятым методикам.

Тяговые характеристики наиболее точно определяются либо на полигонах, либо в заданных дорожных условиях.

**Преодолеваемые углы подъёма** автомобилем относятся к совокупным характеристикам тягово-скоростных качеств автомобилей. Эти испытания проводятся только на специализированных полигонах для получения сопоставимых результатов при оценке однотипных моделей отечественных и зарубежных автомобилей.

Часто тягово-скоростные испытания проводятся в стендовых условиях при создании идентичных условий нагружения для различных автомобилей. Это очень важно при оценке технических параметров автомобилей, имеющих примерно одинаковые конструктивные и эксплуатационные характеристики.

В стендовых испытаниях используется принцип обратимости, то есть автомобиль стоит, а дорога движется. В качестве движущейся дороги используют вращающиеся барабаны, на которых автомобиль стоит ведущими колёсами, или движущаяся опорная лента. Вал барабана соединён с тормозом. Автомобиль устанавливается так, чтобы ось колеса совпадала с осью барабана.

На таких стендах определяются практически все основные конструктивные и эксплуатационные характеристики:

- весовые параметры автомобиля;
- реакция на передних колёсах, зависящая от момента на задних колёсах;
- переменная реакция на ведущих колёсах;
- вращающий момент на ведущих колёсах;
- скорость вращения колёс;
- обороты коленчатого вала двигателя;
- тяговое усилие на ведущих колёсах;
- вращающий момент на валу барабана;
- показания динамометра, удерживающего автомобиль;
- показания тормозного динамометра;
- момент, теряемый на преодоление внеинерционных сопротивлений;
- динамический радиус ведущих колёс;
- координаты центра тяжести.

## 12. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Под топливной экономичностью подразумевается свойство автомобиля, определяющее расход топлива при движении в различных эксплуатационных условиях и на различных режимах.

Топливная экономичность зависит:

- от экономичности двигателя, оцениваемой удельным расходом топлива;
- от сил сопротивления движению, определяемых конструкцией автомобиля (вес, фактор обтекаемости, инерционные массы и др.);
- от качества дороги.

Сложность явлений, происходящих при движении автомобиля, а также множество внешних разнообразных условий приводят к необходимости экспериментального определения показателей экономичности. Это выполняется либо на стенде с беговыми барабанами, либо в дорожных испытаниях.

Автомобиль работает в различных дорожных условиях, на различных скоростях, с различной нагрузкой, поэтому единого показателя экономичности нет. Обычно экспериментально определяются несколько основных характеристик.

**1. Контрольный расход топлива** определяется на одном скоростном режиме движения в условиях, позволяющих получить наибольшую сопоставимость результатов (на прямолинейной без уклонов сухой дороге с твёрдым покрытием).

Эта характеристика позволяет судить об отсутствии или наличии грубых нарушениях в регулировке топливной системы, в установке зажигания и о сопротивлениях в трансмиссии и ходовой части. Контрольный расход определяется на автомобиле с полной (номинальной) нагрузкой на высшей передаче при движении с постоянной скоростью (ГОСТ 20306-85).

Контрольный расход определяется по заездам на участке 3...5 км.

При испытаниях применяются приборы с мерными цилиндрами (рис. 85), с мерными шарами (рис. 86) или счётчик-топливомер.

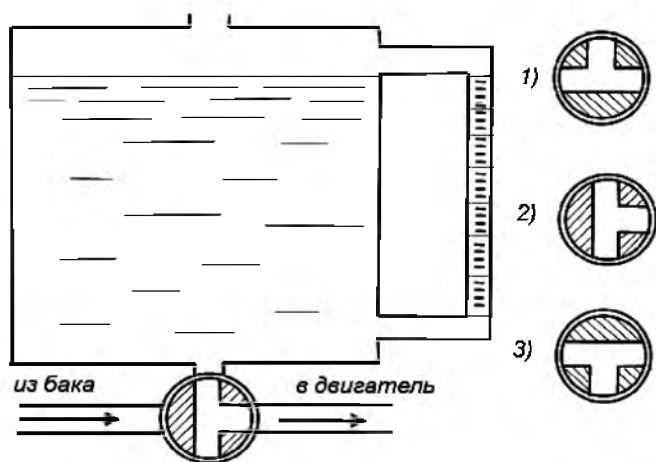


Рис. 85. Схема построения мерного цилиндра

Прибор с мерным цилиндром состоит из стеклянного цилиндра с топливомерной трубкой, имеющей шкалу. Прибор оборудован секундомером и соединённым с ним трёхходовым краном, который имеет три положения:

- 1) – заполнение цилиндра из топливного бака автомобиля;
- 2) – питание двигателя из цилиндра, топливный бак отключен;
- 3) – питание двигателя из топливного бака минуя прибор.

Прибор включается между топливным баком и насосом. Заполняется он насосом или используется разрежение в цилиндре (если прибор расположен выше бака). При испытаниях расход топлива определяется при прохождении автомобилем мерного участка, время замеряется секундомером. К недостаткам прибора можно отнести падение уровня в мерной трубке в момент переключения на двигатель за счёт разности давлений, так как прибор располагается выше бака и прерывистое заполнение поплавковой камеры.

Другим прибором, часто применяемым для измерений является устройство с мерными шарами.

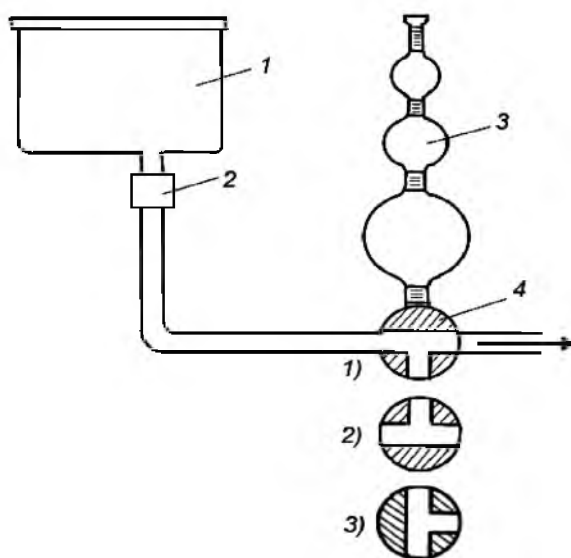


Рис. 86. Схема построения мерных шаров:

1 – бак; 2 – фильтр; 3 – мерные шары; 4 – 3-х ходовой кран:

- 1) заполнение карбюратора из топливного бака; 2) заполнение мерных шаров и питание двигателя; 3) измерение расхода топлива

Объёмы шаров строго вымерены, как правило, верхний шар вмещает один литр, средний шар – три литра, нижний шар – пять литров. Расход определяется путём замера времени расходования известного объёма топлива.

Счётчик-топливомер ставится между бензонасосом и карбюратором. Он подаёт топливо в карбюратор малыми порциями постоянного объёма –  $4 \text{ см}^3$ . Предназначен счётчик для замера расхода топлива при испытаниях двигателей.

Для определения мгновенных значений расхода топлива применяются, так называемые, флоуметры (рис. 87).



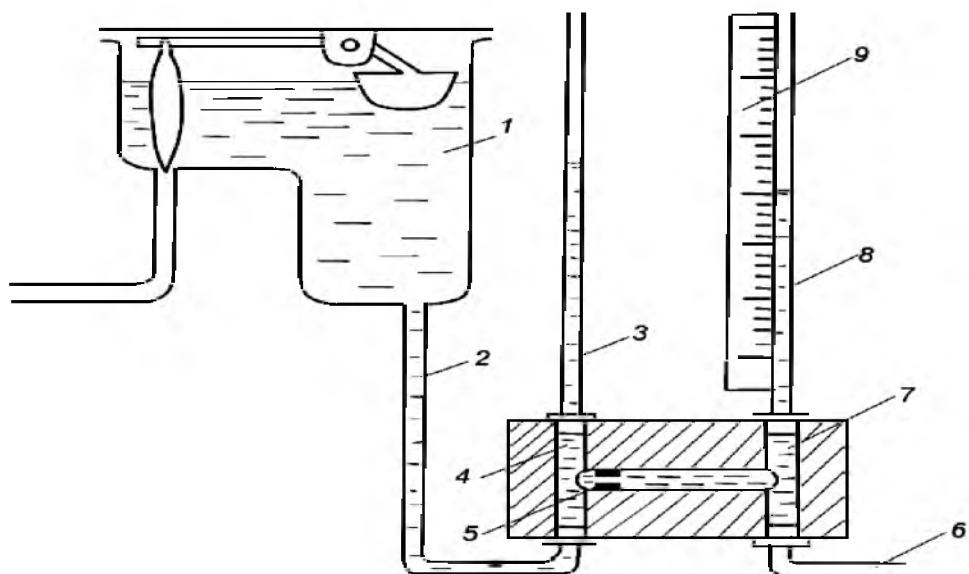


Рис.87. Схема построения простого флоуметра:

1 – поплавковая камера, создающая постоянный статический напор; 2 – трубопровод подающий; 3 – трубка, фиксирующая уровень в поплавковой камере; 4 – камера распределения; 5 – жиклёр; 6 – трубка карбюратора; 7 – камера давления; 8 – трубка, показывающая давление в камере; 9 – шкала

Прибор основан на измерении напора топлива при прохождении калиброванного отверстия – жиклёра. Трубка 3 фиксирует давление в камере 4, а трубка 8 – в камере 7. Шкала проградуирована в кг/час. При увеличении расхода топлива в единицу времени снижается уровень топлива в измерительной трубке 8, соответственно возрастает напор и скорость протекания топлива через калиброванное отверстие 5, что можно наблюдать по шкале этой трубки.

Для измерений расхода топлива при диагностике автомобилей распространены объёмные (например, К-516.02, КИ-8940, UZP-3., UZP-6, Мотекс, ЭЮФ-80М, Фловтроник-205), ротаметрические (РТА-2, КИ-12371) и турбинные (КИ-13967, К-427) расходомеры топлива.

**2. Дорожная экономическая характеристика(топливная характеристика установившегося движения)** – это зависимость расхода топлива от скорости автомобиля при постоянном режиме движения на каждой скорости. Измерения проводятся в обоих направлениях на ровном горизонтальном участке дороги с сухим покрытием. Заезды начинаются с максимальной скорости, затем через равные интервалы в 10 км/час для грузовых автомобилей и автобусов и в 20 км/час для легковых автомобилей убавляются вплоть до минимально устойчивой скорости движения. В зависимости от тяговых особенностей автомобиля испытания проводятся либо на высшей передаче, либо на предшествующей ей передаче.

Расход топлива определяется мерными цилиндрами. Скорость контролируется тарированным спидометром. Измеряются время прохождения мерного участка дороги длиной не менее 1 км и количество израсходованного топлива.

Окончательным результатом является среднеарифметическая величина расхода при заездах в обе стороны, округлённая до 0,1 л/100 км. Измерения могут проводиться для различных нагрузочных состояний автомобиля. По результатам измерений, полученным при заездах в обоих направлениях, строится осреднённая кривая, определяющая дорожную экономическую характеристику (рис. 88).

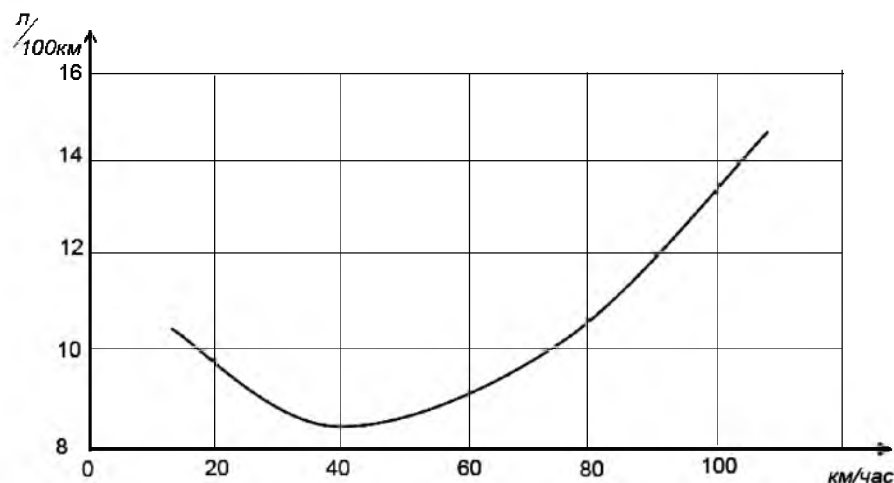


Рис. 88. Вид дорожной экономической характеристики автомобиля

**3. Топливная характеристика при движении по дороге с переменным продольным профилем** снимается на одном и том же участке испытательной дороги (как правило, на автополигоне) для получения сопоставимых результатов для всех сравниваемых автомобилей. Для приближения условий эксперимента к условиям эксплуатации автомобилей на дорогах общего пользования, где обычными являются задержки и помехи движению от других транспортных средств, при снятии характеристики ограничиваются наибольшие скорости, допускаемые в ходе отдельных заездов. При определении каждой точки характеристики пробег испытуемого автомобиля должен быть выполнен по установленному кольцевому маршруту с наибольшей возможной скоростью, но без превышения ни на одном из участков маршрута установленной предельной для данного заезда скорости. Предельные скорости задаются в определенном диапазоне, начиная от номинальной скорости автомобиля до низшего предела, устанавливаемого, исходя из максимальной скорости автомобиля. На спусках во избежание превышения заданной скорости следует применять торможение двигателем, тормозом-замедлителем (при его наличии) или рабочей тормозной системой (плавное притормаживание).

Аналогичным образом проводят заезды на всех режимах, отличающихся заданными предельными скоростями движения. По полученным данным подсчитывают средние скорости и средние расходы топлива в каждом заезде. Результаты каждой пары заездов усредняют. По подсчитанным средним значениям скоростей и удельных расходов топлива (на единицу пути) для каждого ограничения скоро-



сти строятся характеристики: скоростная, выражающая зависимость средней

скорости от заданной предельной (в каждом заезде), и топливную, являющуюся зависимостью среднего удельного расхода топлива от средней скорости в заезде.

**4. Топливная характеристика циклического движения** определяется для автомобилей, работа которых в эксплуатации носит циклический (периодически повторяющийся) характер, таких, как, например, городские автобусы, автомобилесамосвалы, автомобили торговой или почтовой службы. Для них целесообразно определять расход топлива при циклическом режиме движения, воспроизводящем в типизированном (обобщенном) виде наиболее характерные для автомобиля данного назначения эксплуатационные условия.

Элементы эксплуатационных циклов регистрируются в процессе специальных предварительных испытаний посредством, так называемой, режимометрической аппаратуры. При этом фиксируются путь цикла, число и продолжительность остановок, время движения, число включений отдельных передач и время (или путь) движения на передачах, число включений сцепления, число и интенсивность торможений, расход топлива, нагрузки двигателя (например, по положению органа топливоподачи) и т. п.

После математической статистической обработки формируется испытательный цикл, который воспроизводится при определении расхода топлива в процессе циклического движения.

Расход топлива и время движения автомобиля измеряются на заданной дистанции (например, на автобусном маршруте), которая может включать несколько десятков или сотен отдельных циклов. По этим данным подсчитывается удельный расход топлива на единицу пути и средняя скорость, которую определяется как по общему времени пути, включая время остановок (средняя эксплуатационная скорость), так и по чистому времени движения (средняя скорость движения).

Топливная экономичность на дорогах общего пользования обычно определяется при заездах на достаточно длинную дистанцию (50...100 км и более) с измерением расхода топлива и средней скорости движения по нескольким типичным видам автомобильных дорог, в том числе по автомагистралям, дорогам с неровным твердым покрытием, грунтовым, горным и т. д., а также в городских условиях. На этих дорогах выбираются наиболее характерные участки и на них проводятся заезды, обычно в двух взаимно противоположных направлениях. Пройденный в каждом заезде путь определяется по калиброванному счётчику пути с контролем, где возможно, по километровым путевым знакам. Время движения измеряется секундомером. Расход топлива замеряется с помощью объёмного счетчика-топливомера или съёмного мерного бачка (взвешиванием или по объёму). Параметры скоростного режима регистрируются самопишущим прибором (например, автометром).

**5. Дорожная регулировочная характеристика** определяет возможности регулировок топливных приборов (например, карбюраторов) позволяющих изменить мощностные показатели двигателя и влияющие на экономичность.

Как правило, завод-изготовитель даёт предельные регулировки, поэтому возникает необходимость найти оптимальную регулировку. Это достигается рядом заездов с различными регулировками до достижения максимальной скорости.

Подсчитываются расходы топлива на максимальной скорости и на лучшей приёмистости. Расход берётся на единицу пути.

**6. Приведённый расход топлива** – это часть общего расхода топлива при разгоне, энергия которого расходуется на преодоление сопротивления воздуха и дороги, в отличие от остальной части топлива, которая преобразуется в кинетическую энергию движения автомобиля.

Этот расход определяется при заездах по циклу «разгон – накат» с замером общего пути и расхода топлива на разгон.

$$Q = 100Q_p/S_u,$$

где  $Q_p$  – расход топлива на разгон;

$S_u$  – путь цикла в м.

При этих испытаниях используются расходомерные приборы, которые предназначены для определения мгновенного расхода топлива (суммарного или на единицу пути).

Наиболее распространены расходомеры, которые рассчитаны на диапазон 0,5... 40 л/ч с дискретностью 1 см<sup>3</sup>. Эти расходомеры устанавливаются между топливным насосом и карбюратором (у дизелей – после подкачивающего насоса низкого давления). Действие их основано на последовательном перемещении поршней в цилиндрах под давлением топлива, поступающего от топливного насоса двигателя. Поршни связаны шатунами с кривошипом центрального валика. Диаметр цилиндров и ход поршней рассчитаны так, что за один оборот валика вытесняется 2 см<sup>3</sup> топлива.

Импульсы от расходомеров поступают на цифропечатающие приборы и подсчитываются ими либо в течение 3,6 с, либо на пути 100 м. Результаты подсчёта выдаются в цифровой форме и соответствуют часовому расходу топлива или расходу топлива в литрах на 100 км пути.

При оценке приведённого расхода топлива среднее ускорение  $J_p$  подсчитывается по выражению:

$$J_p = V_2 - V_1/3,6 T_p,$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – соответственно скорость конца и начала разгона в км/час;

$T_p$  – время разгона в секундах.

**7. Расход топлива на холостом ходу** определяет общую топливную экономичность автомобиля, так как значительное время двигатель работает на холостом ходу (при прогреве, на стоянке, перед светофором, в пробках и т. п.).

### **13. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ, УПРАВЛЯЕМОСТЬ И МАНЕВРЕННОСТЬ**

В современной трактовке управление автомобилем определяется способностью системы «водитель – автомобиль – дорога» (ВАД) сохранять устойчивость управления в заданных условиях и режимах движения. Устойчивость управления – это свойство системы ВАД выполнять с необходимой точностью задаваемый закон движения, который складывается из устойчивости управления траекторией, скоростью, ускорением и замедлением, устойчивости курсового управления и поперечной устойчивости.

Под устойчивостью понимается способность колёсной машины двигаться в разнообразных условиях без опрокидывания и без бокового скольжения колёс всех осей или одной из них, то есть устойчивость управления траекторией – это свойство системы ВАД отслеживать заданную траекторию движения, а устойчивость курсового управления определяет возможность регулирования разности углов увода на осях после потери автомобилем курсовой устойчивости.

Устойчивость колёсной машины непосредственно связана с другим важным качеством – управляемостью. Под управляемостью понимается способность колёсной машины точно следовать повороту управляемых колёс.

Основными оценочными показателями автомобиля являются:

- коэффициент поперечной устойчивости;
- угол опрокидывания;
- угол крена;
- устойчивость управления траекторией (в баллах);
- устойчивость курсового управления (в баллах);
- устойчивость против опрокидывания (в баллах);
- устойчивость управления скоростью ( в баллах);
- устойчивость управления замедлением (в баллах);
- устойчивость управления траекторией при торможениях;
- предельная скорость выполнения маневра.

Для оценки устойчивости управления используется шкала балльных оценок:

- 5,0 – отлично, улучшать не требуется, водитель не ощущает затруднений при управлении автомобилем;
- 4,5 – неясно: хорошо или отлично;
- 4,0 – хорошо, желательно улучшить, водитель ощущает наибольшие затруднения в несоответствии реакции автомобиля на управляющее воздействие;
- 3,5 – неясно: посредственно или хорошо;
- 3,0 – посредственно, необходимо улучшить, водитель испытывает трудности;
- 2,5 – неясно: удовлетворяет или нет;
- 2,0 – плохо, необходимы изменения, водитель работает на пределе своих возможностей, малейшая ошибка приведёт к потере устойчивости управления;
- 1,5 – неясно: бывает ли хуже;
- 1,0 – хуже не может быть, устойчивое управление невозможно.

### 13.1. Определение угла поперечной (боковой) устойчивости

Угол поперечной (или боковой) устойчивости автомобиля определяется в стационарных условиях на специальном стенде или при движении автомобиля по косогору с твёрдым ровным грунтом и с постепенно увеличивающимся уклоном.

При движении в момент достижения колёсной машиной неустойчивого равновесия, то есть начала бокового опрокидывания, движение прекращается, и измеряется угол наклона косогора, если он заранее не обозначен (обычно стоят столбики через каждые  $30^\circ$  увеличения угла наклона, на которых обозначен угол косогора в градусах). Во избежание опрокидывания и аварии при испытаниях следует применять предохранительные устройства в виде троса (рис. 89) или специальных упоров на испытываемой машине. Один конец троса крепится к испытываемой машине, а другой к раме машины сопровождения.

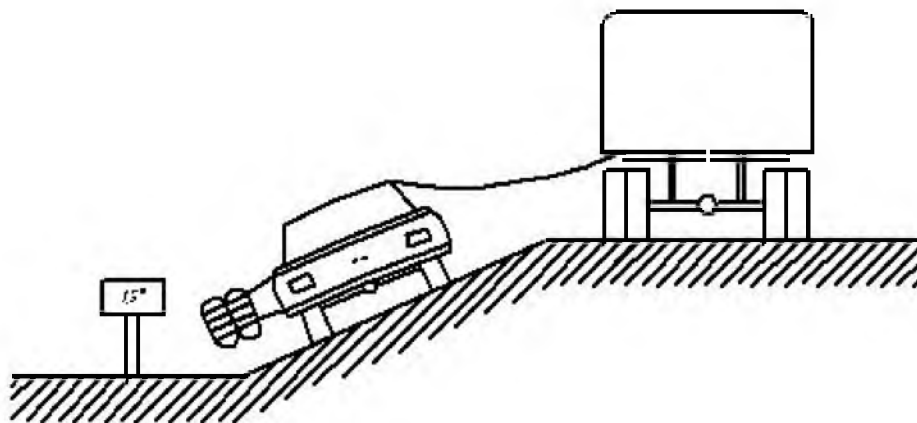


Рис. 89. Схема испытаний на косогоре

При определении угла боковой устойчивости в стационарных условиях испытываемая машина устанавливается на жёсткой платформе или раме. Затем одну сторону этой платформы или рамы поднимают с помощью тали, механического подъёмника или гидropодъёмника. Платформа поднимается постепенно с интервалами угла наклона не более  $5^\circ$ , вплоть до начала отрыва от опорной поверхности колёс одной стороны. Стенд обязательно оборудуется устройством, предохраняющим опрокидывание машины.

При достижении предельного положения машины угол наклона платформы фиксируется угломерным прибором.

Опыты повторяются для двух весовых состояний:

- без груза;
- с полной нагрузкой.

В этом случае груз (не сыпучий), располагается так, чтобы его центр тяжести совпадал с точкой пересечения диагоналей кузова (рис. 90).

Для автомобилей-самосвалов и прицепов-самосвалов с разгрузкой в стороны

необходимо дополнительно определять устойчивость при разгрузке на косогоре.

Для количественной и сравнительной оценки устойчивости машины против опрокидывания можно использовать коэффициент боковой устойчивости  $h_0$ , который представляет собой отношение колеи автомобиля  $B$  к высоте центра тяжести  $hg$ .

$$h_0 = B/2hg$$

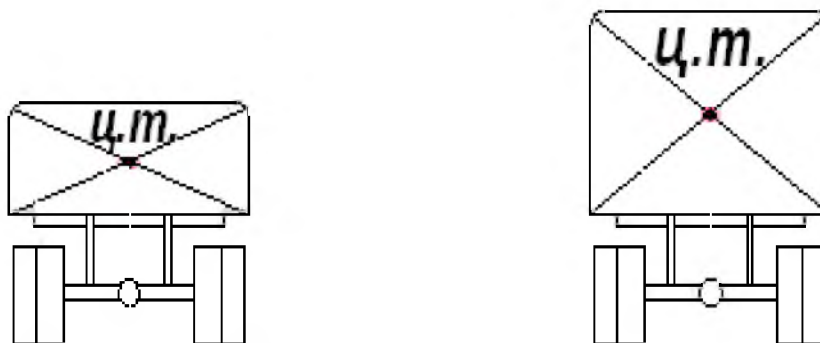


Рис. 90. Расположение центра тяжести груза в кузове

Так как  $h_0$  – численно равен тангенсу угла наклона дороги, при котором наступает неустойчивое равновесие, то обычно его значение сопоставляют с величиной экспериментально найденного угла опрокидывания.

Определение угла опрокидывания в стационарных условиях предпочтительнее, так как этот способ может применяться в любое время года и даёт более стабильные и сопоставимые результаты по сравнению с дорожными испытаниями. С другой стороны в дорожных условиях точнее определяется реальный угол опрокидывания на различных опорных поверхностях, так как при этом действуют многие внешние воздействия, которые не могут быть учтены на стендах.

### 13.2. Определение бокового крена шины

В лабораторных условиях боковая устойчивость кузова и других поддрессоренных частей может быть оценена по величине угловой жёсткости  $A$  подвески, представляющей собой отношение момента  $M$ , наклоняющего поддрессоренные массы в поперечной плоскости, к вызываемому им углу наклона  $\alpha$ .

Угловая жёсткость  $A$  определяется экспериментально приложением к кузову известных моментов  $M$  и измерением углов  $\alpha$ . (рис. 91). Приложение момента  $M$  может быть осуществлено с помощью рамки, укреплённой на автомобиле в

плоскости центра тяжести кузова, на которую с одной стороны действует подъёмное устройство, а с другой такая же сила в противоположном направлении.

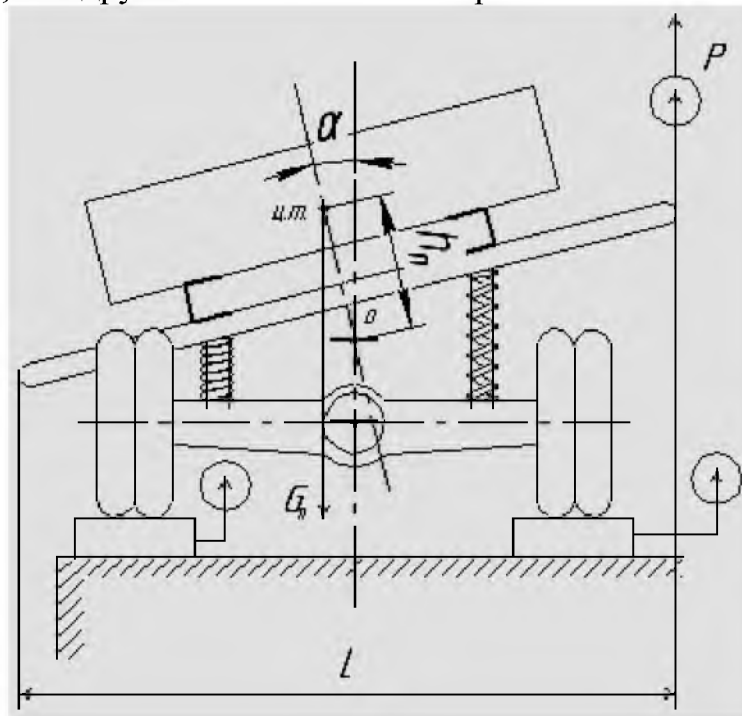


Рис. 91. Схема определения угловой жёсткости подвески автомобиля

В этом случае боковая жёсткость подвески определится из выражения:

$$\lambda = \frac{M}{a} = \frac{0.5 \cdot P \cdot L + G_{II} \cdot h_{II} \sin \alpha}{a},$$

где  $P$  – усилие динамометра;

$L$  – плечо действия силы;

$\alpha$  – угол крена в поперечной плоскости;

$G_{II}$  – вес подпрессоренных частей;

$h_{II}$  – расстояние центра тяжести подпрессоренных масс от оси поперечных колебаний автомобиля.

Для определения момента  $M$  необходимо предварительно определить вес подпрессоренных частей и расположение их центра тяжести. Затем определяется положение оси поперечных колебаний.

Ось поперечных колебаний представляет собой геометрическое место точек, вокруг которых поворачиваются подпрессоренные массы под действием поперечного момента (рис.92). Вследствие высокой жёсткости рамы и кузова машин это геометрическое место точек близко к прямой, лежащей при нейтральном положении кузова в продольной вертикальной плоскости симметрии машины.

Положение оси поперечных колебаний  $A'A''$  обуславливается кинематикой передней и задней подвесок и может быть по-разному наклонено к горизонтали.

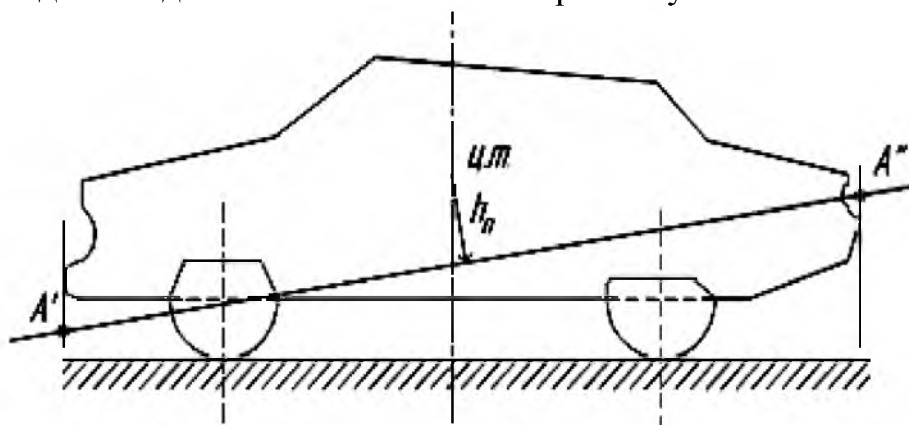


Рис. 92. Расположение оси поперечных колебаний

Для экспериментального нахождения оси поперечных колебаний машина устанавливается на горизонтальной ровной площадке и к кузову прикрепляется мерная доска (рис. 93). Ось мерной доски должна точно совпадать с продольной осью симметрии машины.

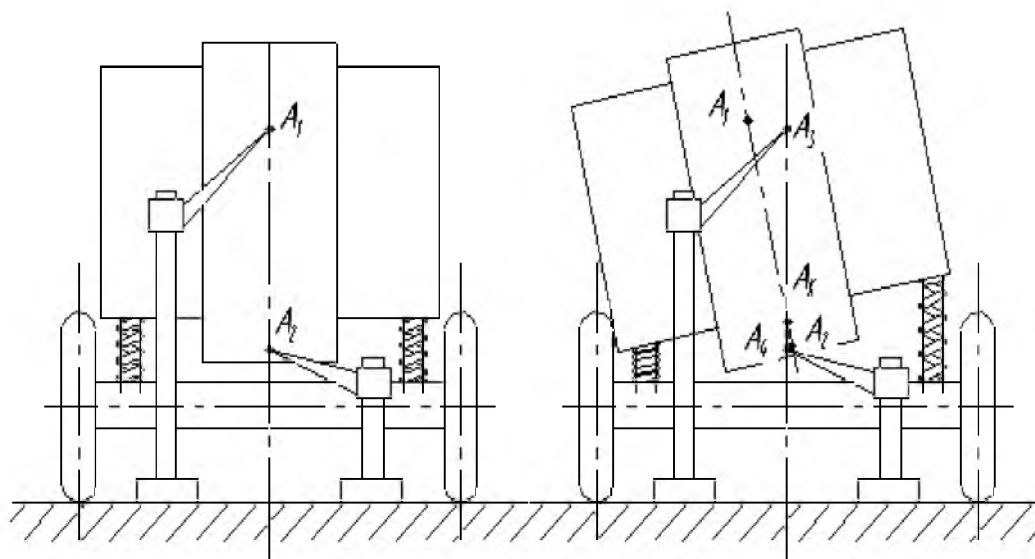


Рис. 93. Схема определения оси поперечных колебаний

К двум точкам  $A_1$  и  $A_2$  на оси мерной доски подводятся указатели. Затем кузов поворачивается с помощью рамки, как описано выше, и отмечают указателями новые точки  $A_3$  и  $A_4$ . Точка  $A_k$ , являясь мгновенным центром вращения кузова (так как она лежит на пересечении прямых  $A_1A_2$  и  $A_3A_4$ ), будет лежать на оси поперечных колебаний.

Проведя такое испытание спереди и сзади машины, находится положение оси поперечных колебаний (проверяют наклоном кузова в обе стороны).



Ось поперечных колебаний можно определить фотосъёмкой яркой точки на кузове (на оси симметрии) с большой экспозицией при раскачивании кузова.

Для небольших углов наклона (до  $8^\circ$ ) можно принять  $\sin \alpha \approx \alpha$ , тогда

$$\lambda = \frac{P \cdot L}{2 \cdot a} + G_{II} \cdot h_{II}.$$

При определении боковой жёсткости  $A$  рекомендуется контролировать вес, действующий на колёса. Для этого колёса ставятся на весы.

В дорожных условиях боковая устойчивость кузова машины оценивается непосредственно по углу его крена при движении на повороте с различными скоростями. Запись ведется самописцем с помощью гироскопа и отметчика времени. Испытания проводятся на дорогах автополигона (скоростной, динамометрической, булыжной ровного замощения, горной и на круглой испытательной площадке), а также на дорогах общего пользования (третьей категории), включающих повороты малых радиусов и участки с неровным покрытием.

### 13.3. Испытание на увод и занос колёсной машины на повороте

Совокупность качеств, обеспечивающих соответствие действительного направления движения заданному рулём, определяет управляемость колесной машины. Причинами, вызывающими отклонение от прямолинейного движения, могут явиться как внешние факторы:

- поперечный уклон дороги,
- неровности дороги,
- боковой ветер,

факторы, обусловленные конструкцией и состоянием машины:

- неодинаковость давления в шинах,
- неправильная установка колес,
- наличие зазоров в рулевом приводе,
- неуравновешенность колёс,
- перекос осей колёс в горизонтальной плоскости, вызванный различным прогибом правой и левой подвесок,

факторы движения:

- боковой ветер,
- центробежные силы на повороте.

При движении машины по дороге (а все дороги имеют неровности) плоскость вращения колёс может изменяться в зависимости от кинематики подвески. Возникающий при этом гироскопический эффект будет стремиться повернуть управляемые колёса. Несоответствие кинематики рулевого привода и подвески при реальной деформации упругих элементов также может вызвать угловые колебания

управляемых колёс. В тех случаях, когда прогиб упругих элементов подвески сопровождается изменением углов наклона шкворней в продольной и поперечной плоскостях, нарушается стабилизация управляемых колёс при движении.

Машина вследствие боковой эластичности шин может начать движение под углом к заданному направлению. Этот угол называется углом бокового увода.

Оценка управляемости машины производится только дорожными испытаниями. В этом случае обычно определяются:

- боковые силы (боковые реакции на колёсах);
- амплитуды и частоты угловых колебаний управляемых колёс вокруг шкворней;
- суммарный угол поворота рулевого колеса, необходимый для поддержания прямолинейного движения на участке пути;
- углы увода передней и задней осей.

Боковые силы (боковые реакции на колёсах) обычно измеряются с помощью динамометрических ступиц (рис. 94). Такие ступицы выполняются либо с гидравлическим, либо тензометрическим звеном, а иногда и с их комбинацией. На цапфе 3 колеса 1 установлена бронзовая втулка 4, допускающая вращение и осевое перемещение ступицы 2. Со ступицей 2 связан (для длительных испытаний ставится через упорные подшипники) корпус поршня 7. Поршень 7 может перемещаться в цилиндре 8. На цапфе закреплена крышка 5 цилиндра. Между крышкой цилиндра 5 и корпусом цилиндра 8 установлена диафрагма 6. Боковые усилия регистрируются либо самопишущим манометром (давление меняется в полости между диафрагмой и крышкой), либо тензоаппаратурой. Датчики клеятся на диафрагму. По результатам испытаний строятся графики зависимости боковой силы от скорости движения по кругу заданного радиуса.

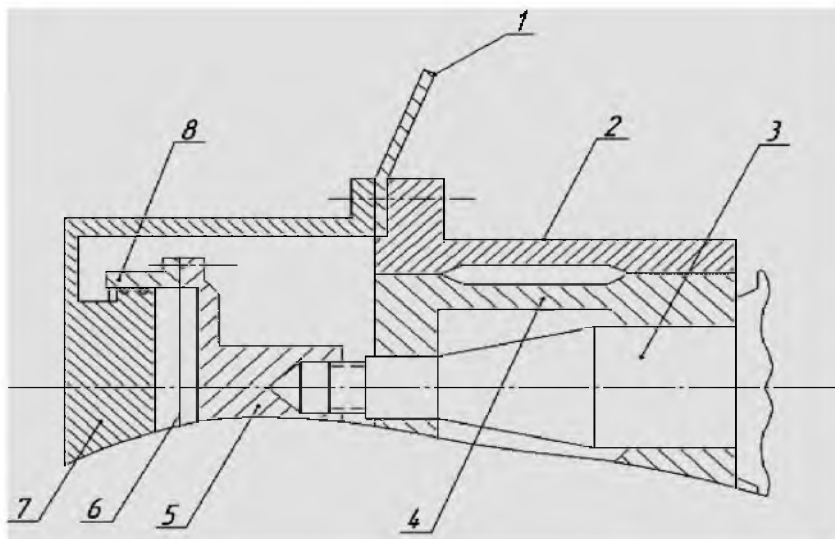


Рис. 94. Динамометрическая ступица колеса

При испытаниях автомобилей ВАЗ 2116 по кругу радиусом в 20 метров выявлено, что до 22 км/ч боковая реакция распределяется между передними колёсами

почти поровну. При увеличении скорости внутреннее колесо начинает воспринимать все меньшую часть боковой силы, и при скорости 27 км/ч происходит падение боковой реакции. Скорость, при которой начинается перераспределение нагрузок, соответствует проскальзыванию внутреннего колеса, а уменьшение абсолютного значения боковой реакции на колёсах означает начало скольжения.

Угловые колебания управляемых колёс обычно регистрируются по колебаниям торца тормозного барабана или тормозного диска. Биения торца барабана (или диска) записываются измерительной тензоаппаратурой или с помощью специализированных информационно-измерительных систем. Колебания передних колёс могут быть оценены также по суммарному углу их поворота при прямолинейном движении с разными скоростями (рис. 95).

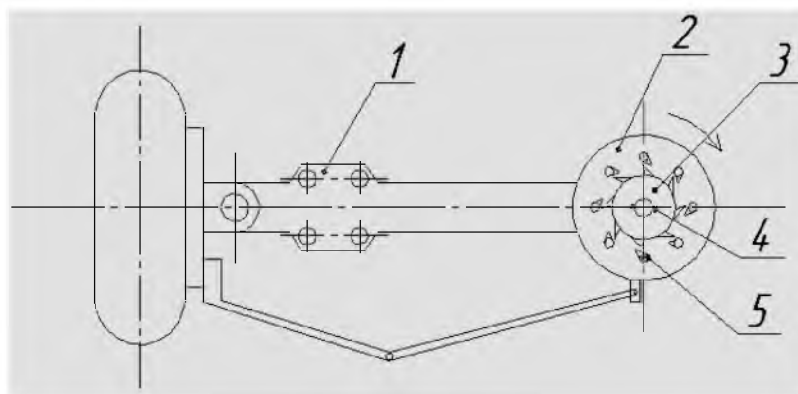


Рис. 95. Схема замера суммарного угла поворота управляемых колёс:  
1 – передняя ось, 2 – поворотный диск, 3 – храповое колесо, 4 – контакты,  
5 – собачка

При колебаниях колеса вокруг шкворня за счёт системы рычагов качается диск 2, а храповое колесо поворачивается собачками в одну сторону, накапливая угол поворота за промежуток времени. Контакты 4 посылают сигнал в суммирующий счётчик (это механический интегратор). Точность результата зависит от шага храповика. Затем строится график изменения угла колебаний колеса на скоростях при прохождении 1 км пути. Изменения положения рулевого колеса обычно регистрируются реостатными датчиками.

Углы увода передней и задней осей характеризуют устойчивость и управляемость колёсных машин, как при прямолинейном движении, так и на повороте.

Возникающая при движении автомобиля на повороте центробежная сила заставит колёса вследствие боковой эластичности шин перемещаться в направлениях, не совпадающих с плоскостью их вращения (рис. 96).

Углы бокового увода, получающиеся между плоскостями вращения колёс и действительными направлениями их движения обозначены:

$\delta_z$  – угол бокового увода задних колёс;

$\delta_n$  – угол бокового увода передних колёс.

При некоторой «критической» скорости этот радиус будет непрерывно уменьшаться, следовательно, будет увеличиваться центробежная сила и угол увода колёс, пока не наступит потеря сцепления, то есть боковое скольжение (занос).

The diagram illustrates a mechanical linkage system. A horizontal slider block, labeled with points  $A$  and  $B$ , moves vertically. A vertical arm of length  $R$  is pivoted at point  $O$  and makes an angle  $\theta$  with the vertical. A curved link of length  $R-a$  is pivoted at point  $O_1$  and makes an angle  $\delta_3$  with the horizontal. The vertical displacement of the slider block is denoted by  $\delta y$ . The angular displacement of the vertical arm is  $\delta \theta$ . The angular displacement of the curved link is  $\delta_3$ . The horizontal distance between the pivot points  $O$  and  $O_1$  is  $L$ . The vertical distance from the pivot point  $O$  to the center of the curved link is  $D$ . The diagram shows the geometry and kinematics of the system, including the angles  $\theta$ ,  $\delta \theta$ ,  $\delta_3$ , and the dimensions  $L$ ,  $R$ ,  $R-a$ , and  $D$ .

Таким образом, эти углы бокового увода определяют свойства излишней или недостаточной поворачиваемости машины. Количественную оценку этого свойства можно сделать только экспериментально.

- Экспериментально определяются углы бокового увода тремя способами:
- 1) с помощью теодолита или проекционного аппарата при движении автомобиля по заданному кругу;
  - 2) по следам, оставляемыми шинами;
  - 3) с помощью «пятого колеса».

Первый метод сводится к измерению углов поворота колёс и радиусов окружностей, по которым они катятся в действительности при заданном повороте руля и постоянной скорости движения. Для получения чётких следов шин применяется специальное покрытие, не ухудшающее сцепление шин с дорогой (быстро высыхающие спецэмульсии). Сопоставляя действительные траектории колёс с плоскостями их вращения, можно найти углы бокового увода.

При использовании теодолита машина движется на гладкой площадке по окружности заданного радиуса, которую наносят краской на дороге. Теодолит устанавливается в кузове машины над задней осью так, чтобы его оптическая ось была перпендикулярна продольной оси машины. Установка производится на неподвижном автомобиле, который стоит на помеченной краской окружности, в центре которой стоит веха наводки оптической оси теодолита. Испытания проводятся на постоянной скорости, причём в движении теодолит вторично наводится на веху, в результате чего угол изменения и будет указывать увод колёс задней оси. Зная угол  $\delta_z$  и угол поворота управляемых колёс  $\theta$  можно определить угол  $\delta_n$ .

Если вместо теодолита в кузове устанавливается проекционный аппарат, то угол увода определяется на матовом экране по смещению изображения вехи. Этот метод позволяет наблюдать увод и определять характер его изменения. Фиксировать увод можно, если вместо проекционного аппарата установить кинокамеру.

Метод 5-го колеса существенно отличается от предыдущих. Когда нет увода задних колёс (малая скорость) 5-е колесо катится по окружности, по которой идёт середина моста. Когда скорость увеличивается и начинается увод, то мост смещается, а 5-е колесо продолжает катиться по той же окружности.

Углы увода машины при прямолинейном движении определяются после приложения боковой силы. Эта сила создаётся с помощью установки крыльев или боковой тяги тросом от параллельно идущей машины (рис. 97).

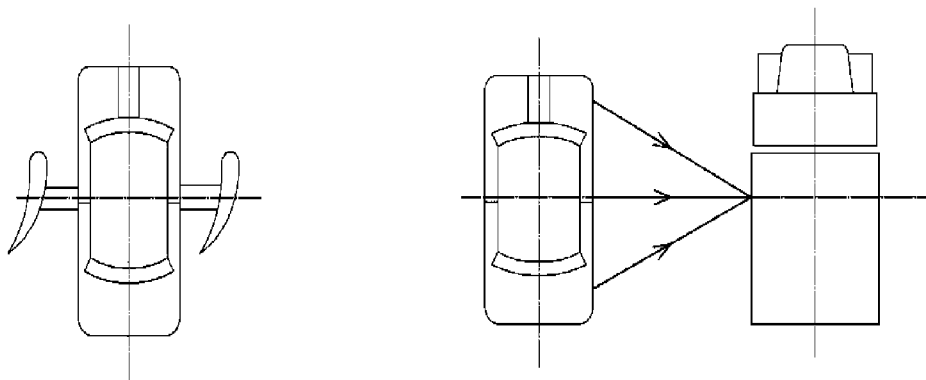


Рис. 97. Схемы создания боковой силы

В перечисленных испытаниях для записи динамических параметров движения может использоваться измерительный комплекс Corrsys Datron, позволяющий определять до 25 параметров движения автомобиля.

Основными приборами комплекса являются: датчик скорости и увода (рис. 98); датчик колебаний колеса (рис. 99); измерительный руль (рис. 100); двухкоординатный бесконтактный измеритель скорости и угла положения кузова; измеритель положения колеса по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; угол поворота (рис. 101); угол наклона; измеритель тормозного усилия и другие устройства.



Рис. 98. Датчик скорости и увода



Рис. 99. Датчик колебаний колеса



Рис. 100. Измерительный руль



Рис. 101. Датчик положения колеса

### 13.4. Испытания автомобилей на управляемость

В результате испытаний определяются параметры, характеризующие управляемость системы «автомобиль – водитель», и находятся характеристики автомобиля, оказывающие влияние на его управляемость. Управляемость системы «автомобиль – водитель» – это способность автомобиля, управляемого водителем, сохранять заданное направление движения или изменять его по желанию водителя воздействием на рулевое управление в определенных дорожных условиях.

Управляемость автомобиля тесно связана с устойчивостью, так как чем выше устойчивость, тем больше приближается фактическая траектория движения автомобиля к траектории, задаваемой водителем. Поэтому при испытаниях определяют показатели, характеризующие устойчивость по опрокидыванию, курсовую устойчивость, то есть способность сохранять заданное направление движения и боковую устойчивость, которая характеризует боковые смещения при движении.

Показатели управляемости и устойчивости определяются при движении автомобиля как в нормальных эксплуатационных условиях, так и по размеченным траекториям на специальных площадках.

Испытаниям подвергаются автомобили, параметры которых соответствуют техническим условиям при полной их массе. Предварительно обязательно проверяются углы установки управляемых колёс, зазоры в рулевом управлении, давление воздуха в шинах, износ протектора шин, который не должен превышать 30 % его первоначальной высоты. Длина участков должна составлять 500 м при движении со скоростями 10...30 км/ч и 1000 м при больших скоростях.

Во время испытаний определяется комплекс показателей, характеризующих управляемость и устойчивость автомобиля: боковые отклонения автомобиля, колебания курсового угла, крены автомобиля, чувствительность автомобиля к управлению, стабилизация положения управляемых колес, величины усилий на рулевом колесе и др.

Испытания на управляемость по специально размеченным траекториям включают движение по прямой (курсовая устойчивость), перевод автомобиля с одной полосы движения на другую (переставка), поворот с переходом на круговую траекторию (вход в поворот), «рывок руля» и «змейку».

Курсовая устойчивость проверяется на прямолинейных участках дорог шириной не менее 3,5 м, с продольным уклоном до 1 % и поперечным – не более 0,5 %. Испытания проводятся на дорогах с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием в сухом и мокром состояниях с ограниченной величиной неровностей и с установленными на дорогах искусственными препятствиями определенной формы и размеров, а также с булыжным сухим покрытием хорошего качества и на укатанных заснеженных дорогах.

На каждом участке проводится не менее восьми заездов в каждом направлении с различными скоростями. При испытаниях на сухой асфальтобетонной или цементобетонной дороге скорости должны быть меньше максимальной на 10 км/ч для легковых автомобилей и на 5 км/ч для грузовых автомобилей и автобусов.



Испытания на всех остальных типах дорог для всех автомобилей производятся при максимально возможной скорости движения по условиям безопасности.

Отклонения продольной оси автомобиля от заданного прямолинейного движения записываются с помощью гироскопического полукомпаса, а углы поворота рулевого колеса регистрируются на ленте осциллографа, магнитографа или с помощью компьютера (например, через проволочный круговой потенциометр).

Переставка производится при обгоне, при подготовке к повороту, при объезде внезапно появившегося препятствия. Испытания со сменой полосы движения характеризуют управляемость и устойчивость автомобиля и проводятся при разных состояниях поверхности твёрдого дорожного покрытия.

На участке дороги (рис.102) с помощью переставных ярко окрашенных конусов размечают полосы, по которым водитель должен вести автомобиль, не сбивая и не смещая разметочных знаков с изменением полосы движения. Показателем управляемости при этом является наибольшая скорость, при которой выполняются требования смены полосы движения. Кроме того, определяется угол крена машины, усилия на рулевом колесе и углы его поворотов, смещения продольной оси автомобиля от положения, соответствующего прямолинейному движению.

При входе в поворот определяется предельная скорость движения на поворотах постоянного радиуса с высоким коэффициентом сцепления в момент потери управляемости автомобилем, вызванной опрокидыванием, заносом или невыездом в заданную траекторию. Радиус поворота устанавливается равным 25 метров для грузовых автомобилей и автобусов с числом мест больше 10 и 35 метров – для легковых автомобилей и автобусов малой вместимости.

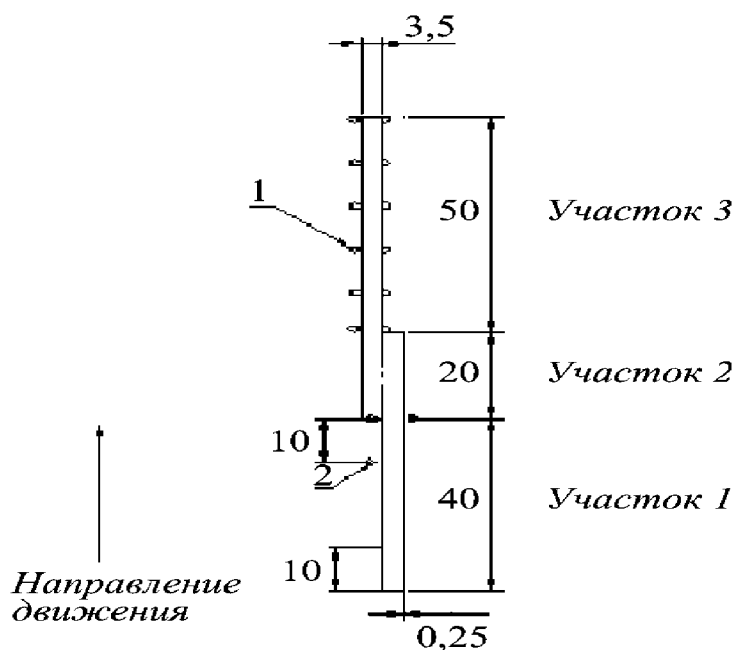


Рис. 102. Схема разметки площадки для испытаний «переставка»: 1 – вертикальные ограничители разметки коридора движения; 2 – датчики измерения скорости автомобиля

Перед участком входа в поворот наносятся две линии прямолинейного коридора и переходную кривую, по которой автомобиль входит в движение по кругу (рис. 103).

*Испытание поворот  $R = 30$  м*

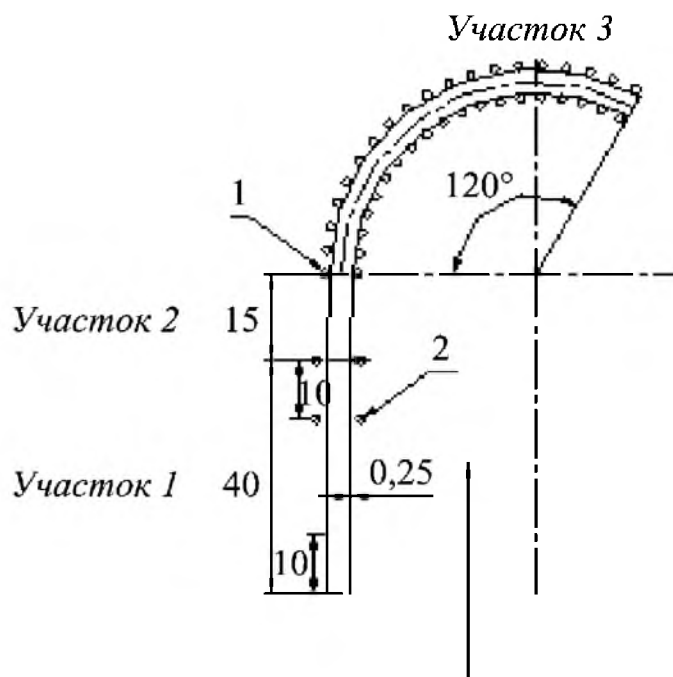


Рис. 103. Испытания «поворот» с радиусом 30 м:

1 – вертикальные ограничители коридора движения; 2 – датчики скорости

Испытания «рывок руля» проводятся с предварительным разгоном для автомобилей категорий М1, М2, N1, N2 до скорости  $80 \pm 3$  км/час, категорий М3, N3, – до  $60 \pm 3$  км/час. При въезде с этой скоростью на разворотную площадку производится резкий поворот руля с угловой скоростью не менее 400 град/с. Угол поворота рулевого колеса увеличивается в последовательных заездах до возникновения бокового (центробежного) ускорения до  $4,5 \text{ м/с}^2$  или потери сцепления шин, а также при начале бокового опрокидывания. Испытания выполняются при рывке руля в правую и левую стороны. Предельная скорость определяет как курсовую устойчивость, так и поворачиваемость машины.

На рис. 104 показана схема движения автомобиля при испытании «змейка», где определяются максимально возможная скорость синусоидального движения.

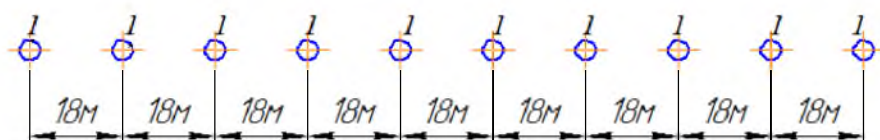


Рис. 104. Разметка для движения «змейка»

При перечисленных испытаниях автомобиль должен иметь одно или два страховочных навесных колеса, установленных на специальных кронштейнах, которые ограничивают наклон автомобиля при повороте (в период отрыва колёс от поверхности дороги) на угол, не превышающий  $25...30^\circ$ . На легковых автомобилях страховочные колёса рекомендуется устанавливать на кронштейнах у передних и задних бамперов.

К характеристикам автомобиля, оказывающим влияние на управляемость, относятся статическая и динамическая поворачиваемость, предельная скорость движения по окружности на дороге с малым коэффициентом сцепления, стабилизация управляемых колёс, наименьшие радиусы поворота, лёгкость рулевого управления, максимальные углы поворота рулевого колеса и управляемых колес, а также угловое передаточное число рулевого управления.

Статической поворачиваемостью характеризуется способность автомобиля сопротивляться уводу, вызванному действием центробежной силы при движении по кругу с заданной скоростью.

Испытания проводятся на цементобетонной горизонтальной сухой площадке диаметром не менее 80 м. Комплект аппаратуры, установленной на автомобиле, должен обеспечивать непрерывную запись угла увода задней оси, пути и времени, проходимого какой-либо точкой автомобиля, или углов увода обеих осей и центробежного ускорения. Записываются углы увода при помощи «пятого колеса», устанавливаемого под задней осью двухосного автомобиля или под серединой базы задней тележки трехосного автомобиля. Допускается смещение «пятого колеса» в поперечном направлении к центру поворота автомобиля.

Во время испытаний автомобиль движется по окружности диаметром 25 м с последовательно увеличивающимися в заездах скоростями от минимальной –  $3...4$  км/ч до предельной, причём скорость поддерживается постоянной от начала до конца прохождения длины окружности.

Динамическая поворачиваемость определяется при движении автомобиля по синусоидальной траектории между вешками, поставленными по прямой. Характеристиками динамической поворачиваемости являются разность углов увода передней и задней осей автомобиля, максимальная скорость вращения рулевого колеса за период проезда синусоиды, разность фактически произведенного и теоретически необходимого угла поворота рулевого колеса на участке, ограниченном четырьмя вешками.

В качестве вспомогательного параметра используется разность углов увода осей в момент достижения максимального угла поворота рулевого колеса. Все перечисленные параметры представляются в виде зависимости от максимального углового ускорения при движении по синусоиде.

Испытания проводятся на сухой цементобетонной дороге шириной не менее 10 м, на которой устанавливают более семи вешек. Расстояние между вешками назначается в зависимости от базы автомобиля, например, 10 м для автомобилей с базой до 2,7 м и 25 м – для автомобилей с базой более 4,2 м. Автомобиль проходит между вешками на возможно близком расстоянии от них.

При испытаниях скорости изменяются от максимально возможной до минимальной – 8...10 км/ч с интервалом 2...3 км/ч). Аппаратурой записываются углы поворота оси автомобиля, углы поворота рулевого колеса, отметки времени.

Одной из характеристик управляемости автомобиля является, предельная скорость его движения по окружности на горизонтальной поверхности с малым коэффициентом сцепления. Устойчивость автомобиля характеризуется предельной скоростью движения передней оси по окружности (основной параметр) и центробежное ускорение, при котором происходит занос одной из осей автомобиля (вспомогательный параметр).

Во время испытаний автомобиль движется по окружности радиусом 15 м на горизонтальной площадке, покрытой льдом. Водитель ведёт автомобиль передним левым колесом по окружности, постепенно увеличивая скорость до начала заноса, причём увеличение скорости при прохождении одного круга не должно быть более 1...1,5 км/ч. Перед началом заноса производится непрерывная запись угловой скорости продольной оси автомобиля или угла поворота и времени.

Стабилизация управляемых колес автомобиля определяется по скорости возвращения колёс в нейтральное положение при выходе из поворота. Автомобиль движется со скоростью 20 км/ч так, что переднее наружное колесо находится на окружности радиусом 15 м, нанесенной на ровной и сухой площадке с твёрдым покрытием. По команде водитель отпускает рулевое колесо, и оно поворачивается в положение, которое соответствует прямолинейному движению автомобиля. При этом регистрируются изменения угла или скорости поворота рулевого колеса по времени. Движение автомобиля продолжается с постоянной скоростью до прекращения вращения рулевого колеса. Затем автомобиль останавливается и рулевое колесо доводят до нейтрального положения. В результате обработки данных определяются средние угловые скорости самовозврата рулевого колеса и стабилизации управляемых колёс для трех заездов в прямую и обратную стороны.

Легкость управления автомобилем оценивается по величине усилий на ободе рулевого колеса при повороте управляемых колёс на месте, при движении по траектории «восьмерка» и при переезде препятствий.

Испытания проводятся на горизонтальной асфальтобетонной площадке в сухом состоянии. Повороты на месте производятся вправо и влево до упора в ограничители. При наличии усилителя рулевого привода испытания проводятся при работающем двигателе.

Повороты при движении по траектории «восьмерка» осуществляются со скоростями 25 км/ч для легковых автомобилей, автобусов с числом мест до восьми и грузовых автомобилей с полной массой до 3500 кг и 20 км/ч для остальных автомобилей. Первая категория автомобилей испытывается при движении по траектории «восьмерка» диаметром 20 м и с расстоянием между центрами 28 м, а вторая – диаметром 30 м и с расстоянием между центрами 42 м.

Переезд искусственных препятствий трапецевидной формы высотой 6 см и шириной по основанию 30 см, установленных через 0,75 м, производится со скоростью 20 км/ч поочередно колёсами каждой стороны автомобиля.

### 13.5. Испытания автомобилей на маневренность

Маневренность – это способность автомобиля или автопоезда совершать повороты и развороты на минимальной площади. При испытаниях на маневренность определяются (рис.105):

- радиусы поворота;
- габаритные радиусы поворота;
- ширина полосы, на которой совершается поворот (для автопоездов);
- величина смещения оси прицепа относительно оси тягача;
- способность автопоезда двигаться задним ходом по заданной траектории.

Испытания проводятся на ровной горизонтальной площадке с твёрдым покрытием. Автомобиль движется с минимально возможной скоростью по кругу с повернутыми до упора в ограничители управляемыми колёсами.

Автомобиль проезжает полный круг, после чего измеряется диаметр круга по осевой линии следа переднего внешнего колеса.

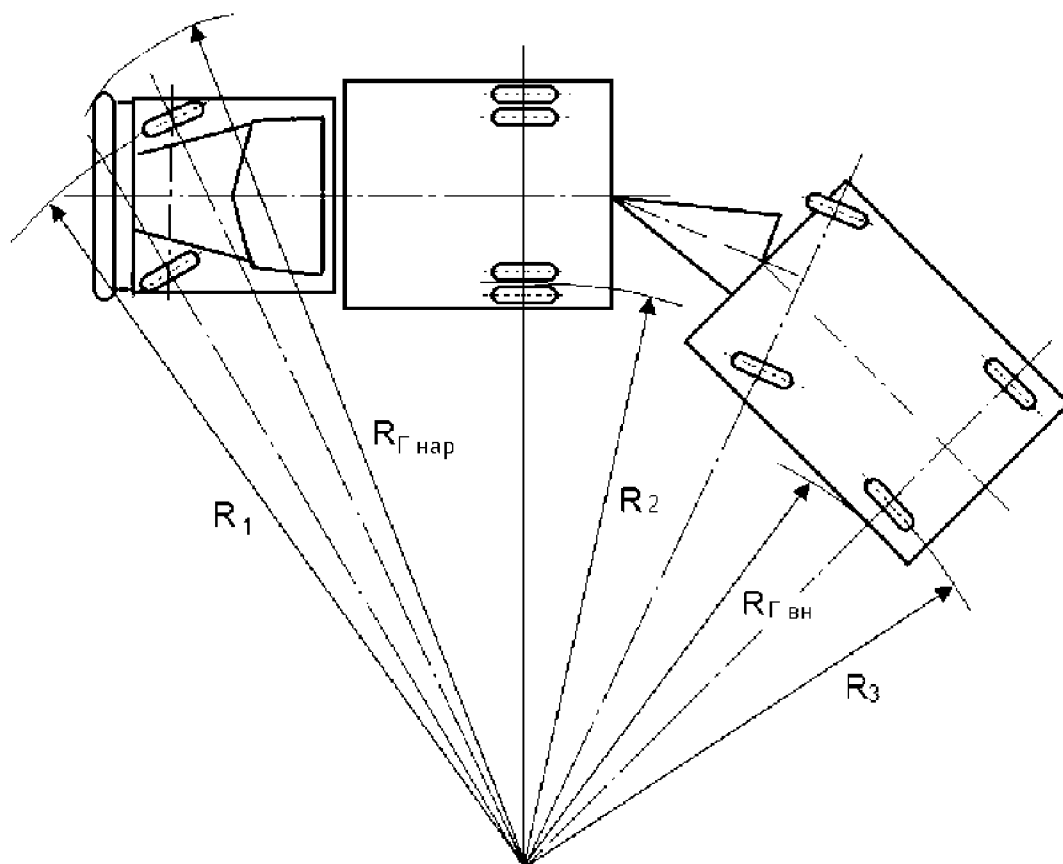


Рис. 105. Схема поворота автомобиля с прицепом:

$R_1$  – внешний радиус поворота,  $R_2$  – внутренний радиус поворота,  $R_3$  – внутренний радиус поворота прицепа,  $R_{Г\text{ нар}}$  – габаритный наружный радиус,  
 $R_{Г\text{ вн}}$  – габаритный внутренний радиус

Для замера габаритных радиусов поворота измеряется расстояние от оси следа переднего внешнего колеса до отвесов, укрепленных на автомобиле в двух точках – наиболее приближенной к центру поворота и наиболее удаленной от него.

При испытаниях на маневренность фиксируются исключение опрокидывания и заноса, точная и быстрая реакция автомобиля на поворот рулевого колеса, соответствие угла поворота рулевого колеса углу поворота управляемых колёс и обратная связь между усилием на рулевом колесе и боковыми реакциями на управляемых колёсах.

Методы испытаний и оценочные параметры основываются на действующих нормативных документах (РД 37.001.005-86В «Методы испытаний и оценки устойчивости управления автотранспортными средствами» и ОСТ 37.001.471-88 «Управляемость и устойчивость автотранспортных средств. Методы испытаний»).

Испытания, проводимые в соответствии с этими нормативными документами, позволяют зафиксировать обеспечение норм управляемости и устойчивости, что необходимо при сертификации выпускаемых моделей.

Наименьшие радиусы поворота переднего наружного колеса и габаритные радиусы поворота (внешний и внутренний), характеризующие ширину проезда автопоезда с полуприцепом (рис. 106), определяются при повороте вправо и влево.

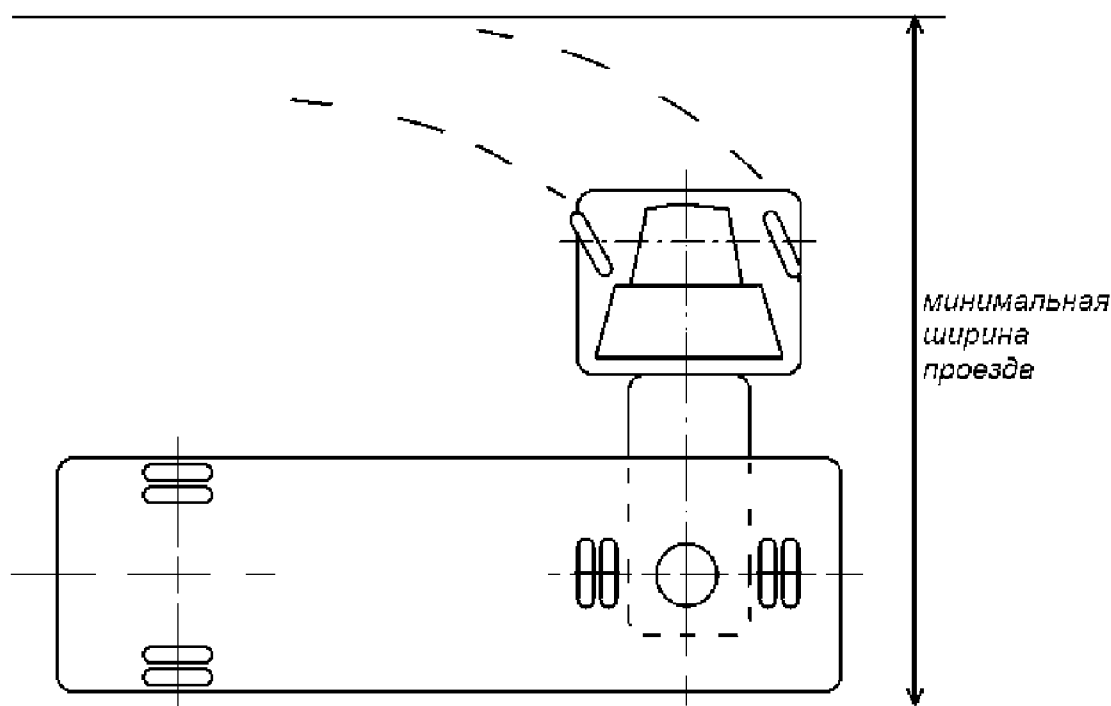


Рис. 106. Ширина проезда автопоезда

Следует учитывать, что помимо перечисленных испытаний часто используются органолептические оценки, выставляемые по пятибалльной системе в виде комплексной оценки устойчивости управления траекторией движения, курсовой устойчивости, устойчивости против заноса и опрокидывания.

## 14. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОРМОЗНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

При экспериментальной оценке тормозных качеств автомобилей и автопоездов определяется эффективность работы рабочей, запасной, стояночной и вспомогательной тормозных систем.

В целях единообразия проведения испытаний и обеспечения сопоставимости получаемых результатов условия и методы тормозных испытаний регламентированы как международными, так и отечественными нормативными документами.

Перед этими испытаниями проверяется общее техническое состояние автотранспортных средств и обязательно их тормозных систем.

Для получения показателей, соответствующих тормозным свойствам автомобилей в эксплуатации, перед испытаниями трущиеся элементы тормозов нового автомобиля должны быть приработаны в соответствии с методикой конкретных типов испытаний. При испытаниях новой модели определяется зависимость между усилием на тормозной педали и давлением жидкости в гидравлическом приводе тормозов, а при пневматическом приводе – зависимость между ходом педали и давлением в тормозных камерах.

Эффективность *рабочей тормозной системы* оценивается в процессе дорожных испытаний величинами тормозного пути, установившимся замедлением, тормозными силами и временем срабатывания тормозного привода.

В соответствии с международными требованиями ЕЭК ООН испытания подразделяются на три типа: испытания «ноль», испытания *I* и испытания *II*.

*Испытания «ноль»* имеют целью определение эффективности тормозной системы при «холодных» тормозах. Холодными считаются рабочие тормозные механизмы, у которых температура на наружных поверхностях тормозных барабанов или дисков не превышает 100° С.

Для испытаний типа "0" режимы испытаний приведены в таблице 13.

Таблица 13

Категория автомобилей	Наибольший допустимый тормозной путь в м	Начальная скорость при торможении, км/час	Среднее замедление при торможении, м/сек <sup>2</sup>	Макс. усилие на тормозной педали в кг
M1	$S \leq 0,1V_0 + V_0^2 / 150$	80	5,8	50
M2	$S \leq 0,15 V_0 + V_0^2 / 130$	60	5,0	70
M3	$S \leq 0,15 V_0 + V_0^2 / 130$	60	5,0	70
N 1	$S \leq 0,15 V_0 + V_0^2 / 115$	70	4,4	70
N 2	$S \leq 0,15 V_0 + V_0^2 / 115$	50	4,4	70
N 3	$S \leq 0,15 V_0 + V_0^2 / 115$	40	4,4	70



Эти испытания проводятся как с выключенной, так и с включенной передачей. Испытания проводятся в порожнем и груженом состояниях автомобиля на горизонтальном, сухом и прямом участке дороги, с цементобетонным покрытием в хорошем состоянии.

Анализируя данные таблицы 13 можно заключить:

1. В отдельные виды испытаний может быть включено торможение автомобилей с более высоких скоростей.
2. При испытаниях автопоезда необходимо учитывать, что для пассажирского и смешанных автопоездов допустимый тормозной путь определяется по формулам для той категории транспортных средств, к которой автопоезд можно отнести по полному его весу, а для грузового автопоезда максимальный тормозной путь определяется по формуле:

$$S \leq 0,18 V_0 + V_0^2 / 115.$$

Испытания I проводятся для определения тормозной эффективности рабочей тормозной системы при нагретых рабочих тормозных механизмах. Нагрев тормозов автомобилей осуществляется путём последовательных торможений, а прицепов или полуприцепов – их буксировкой в заторможенном состоянии. Нагрев методом периодического или непрерывного торможения применяется для категории транспортных средств M1; M2; N1; N2, а нагрев методом непрерывного торможения – для категорий M3 и N3. Испытания типа "1" проводятся только для полностью загруженных автотранспортных средств. Испытания тормозов автотранспортных средств путём ряда последовательных торможений автомобиля проводятся в соответствии с условиями и режимами, приведенными в таблице 14.

Таблица 14

Категория автомобилей	Режим циклического торможения			
	Начальная скорость цикла $V_n$	Конечная скорость цикла $V_k$	Время цикла	Кол-во торможений
M1 (но не более)	0,8 от max 120 км/час	$1/2 V_n$	45	15
M2 (но не более)	0,8 от max 100 км/час	$1/2 V_n$	55	15
N1 (но не более)	0,8 от max 120 км/час	$1/2 V_n$	55	15
N2 (но не более)	0,8 от max 60 км/час	$1/2 V_n$	60	20

Начальная температура перед нагревом, измеренная на внешней стороне барабана или диска, не должна превышать 100° С. Нагрев тормозов производится

путём "п"- кратных следующих друг за другом разгонов и торможений от  $V_n$  до  $V_k$  с заданным интервалом времени. Непосредственно после окончания нагревания производится испытание эффективности рабочего тормоза. Первое торможение производится с усилием нажатия, которое соответствует среднему замедлению  $3 \text{ м/сек}^2$ . Это усилие на тормозную педаль должно оставаться постоянным в течении всех последующих торможений. Во время торможения остаётся включенной самая высокая передача, кроме ускоряющей. При возобновлении движения после торможения разгон должен производиться так, чтобы требуемая начальная скорость для последующего торможения была достигнута в течение возможно более короткого отрезка времени. По окончании процесса нагрева эффективность работы тормозов определяется как при испытаниях типа "0" (но при другом температурном режиме). При этом остаточная эффективность рабочих тормозов должна быть не ниже 80 % эффективности, предписанной для данной категории автомобиля и не ниже 60 % эффективности при испытании "0".

*Испытания II* проводятся для определения эффективности рабочей тормозной системы на затяжных спусках. В этих испытаниях также предварительно нагреваются тормозные механизмы, а затем проводятся контрольные торможения по методике испытаний «ноль».

Тормозные качества автомобиля характеризуются многими показателями, основными из которых являются четыре:

- 1) величина пути торможения;
- 2) величина замедления при торможении;
- 3) время срабатывания тормозного привода;
- 4) усилия на тормозной педали и в рабочих тормозных механизмах.

Эффективность *запасной тормозной системы*, которая предназначена для использования при выходе из строя рабочей тормозной системы, определяется при различных вариантах преднамеренного выключения тормозов одного или двух колёс по методике испытаний «ноль» и при выключенном двигателе.

Эффективность *стояночной тормозной системы* определяется по суммарной тормозной силе, развиваемой тормозными механизмами и сопротивлением движению автомобиля.

Для проверки эффективности стояночного тормоза автомобиль с номинальной нагрузкой устанавливается на наклонную плоскость дороги с твёрдой, ровной и сухой поверхностью и затормаживается стояночным тормозом. Он должен быть в «холодном» состоянии. Коробка передач автомобиля должна находиться в нейтральном положении. Величина уклона для одиночного автомобиля должна быть не менее 16 %, а для автопоезда – не менее 12 %. Усилие (наименьшее), которое необходимо приложить к рычагу при приведении в действие стояночного тормоза для остановки автомобиля должно быть измерено посредством динамометра (оно не должно превышать 60 кг). Время удержания автомобиля на заданном уклоне, после каждого затормаживания, должно быть не менее 5 мин. Опыт повторяется после разворота на  $180^\circ$ . Если стояночный тормоз рассчитан на применение в качестве запасного при выходе из строя основного рабочего тормоза, следует

проверить его эффективность при затормаживании движущегося автомобиля со скоростями 30 км/ч и 50 км/ч.

Эффективность *вспомогательной тормозной системы* определяется по величине суммарной тормозной силы, развиваемой механизмами этой системы и сопротивлением движению. Испытания проводятся тремя способами.

1. Автотранспортное средство в заторможенном состоянии спускается на участке дороги, имеющей продольный уклон 7 % и протяжённость 6 км. При этом тормозная система должна обеспечивать спуск испытываемого автомобиля или автопоезда со стабильной скоростью  $30 \pm 2$  км/час при наличии замедлителя и не более  $30 \pm 5$  км/час при торможении двигателем.

2. Автотранспортное средство в заторможенном состоянии буксируется по горизонтальной дороге с помощью автомобиля-тягача на жёсткой сцепке с динамографом. При этом определяется установившаяся сила тяги в сцепном устройстве при скорости  $30 \pm 1$  км/час.

3. Автотранспортное средство затормаживается частично, то есть в заданном интервале скоростей (от 35 до 25 км/час. Торможение производится с включённой передачей в трансмиссии, отвечающей тем же требованиям, что и при испытаниях типа II. При испытаниях фиксируется зависимость скорости от времени.

Испытания вспомогательной тормозной системы проводятся не менее двух раз с интервалами для охлаждения.

Испытания *устройств для регулирования или ограничения тормозных усилий* на колёсах (обычно задних) проводятся с целью подбора оптимальных регулировок антиблокировочных систем, устраняющих блокировку колёс, занос машины и потерю управляемости, особенно при торможении на дорогах с низким коэффициентом сцепления. Испытания предусматривают несколько серий торможений на дорогах с ровным цементобетонным или асфальтобетонным покрытием при сухом, мокром и обледенелом состоянии. Измеряются тормозной путь и отклонение машины от прямолинейного движения.

Аппаратура, применяемая при испытаниях тормозных систем, должна обеспечивать измерение и запись всех величин, характеризующих процесс торможения на различных режимах (тормозной путь, время торможения, замедление, начальную скорость торможения, изменение скорости в функции пути или времени, усилия на органах управления, температуру тормозных механизмов).

Для регистрации скорости движения в функции пути или времени применяется «пятое колесо», а для оценки замедления – деселерометры. Усилия на органах управления в тормозных механизмах и давление в тормозных приводах в основном определяются на тормозных испытательных стендах, оборудованных соответствующей аппаратурой. На стендах обеспечиваются более повышенные требования к точности проведения испытаний и замеров.

Начало торможения и тормозной путь могут определяться с помощью пистолета, стреляющего краской на дорогу (рис. 107). В баллоне внизу находится краска, вверху воздух под давлением. При повороте рычага стояночного тормоза или при нажатии на тормозную педаль краска выстреливается на дорогу.

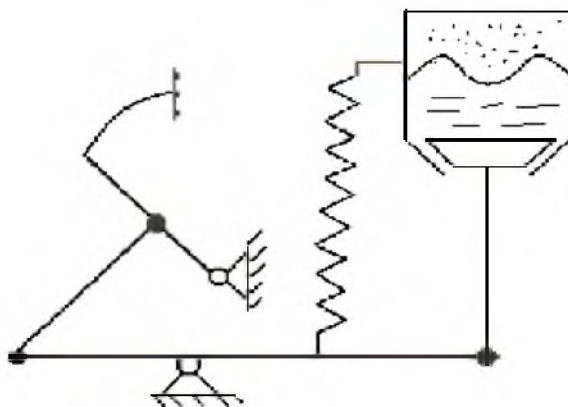


Рис. 107. Пистолет, стреляющий краской

Подготовка автомобиля – обязательный начальный этап тормозных испытаний. Автомобиль должен быть тщательно отрегулирован в строгом соответствии с требованиями инструкции завода-изготовителя и проверен в работе во всём диапазоне нагрузок и оборотов. Проводится определение весового состояния автомобиля. Кроме того, автомобиль должен пройти предварительную обработку не менее 200 км, шины должны иметь пробег не менее 500 км, а их износ не должен превышать 50%. Давление в шинах должно соответствовать техническим условиям завода-изготовителя. Для тормозов с пневмоприводом проверяются показатели, оговоренные в ГОСТ 4364-67.

Перед испытаниями в тормозной системе обязательно выполняется комплекс подготовительных работ:

- проверяется состояние тормозных барабанов и фрикционных накладок, если нужно, то они очищаются и промываются;
- устанавливается рекомендуемый зазор между тормозными колодками и барабаном или тормозными накладками и диском;
- проверяется герметичность привода тормозов;
- проверяется свободный ход тормозной педали.

Если перед испытаниями степень приработки поверхности колодок или накладок составляет не менее 90 %, автомобиль направляется на проведение стендовых испытаний для определения величины тормозных усилий, развиваемых на каждом колесе и одновременности срабатывания тормозов на колёсах каждой оси. Если приработка составляет менее 90 % рабочей поверхности накладок или колодок, необходимо проводить специальную приработку, которая выполняется путём многократного притормаживания по 3...4 торможения с начальной скоростью  $V_0 = 0,8 V_{max}$  км/ч до конечной скорости  $V_k = 0,5 V_0$  км/ч, при этом замедление должно быть не менее  $j = 3 \text{ м/сек}^2$ . Температура нагрева барабанов или дисков при испытаниях не должна превышать  $100^\circ \text{C}$ . После 3...4 торможений должно быть предусмотрено охлаждение тормозов путём остановки автомобиля не менее, чем на 25 мин, или путём пробега в течение не менее 15 мин без применения тормозов со скоростью  $V = 70 \text{ км/ч}$ .

Для оценки эффективности мокрых тормозов предварительно определяется эффективность сухих тормозов трёхкратным торможением с постоянным усилием на педали тормоза. Прогнав автомобиль через мелководную ванну (на полигоне) начинается серия новых торможений с увеличением усилия на педали. Циклы повторяются до тех пор, пока усилие на педали не станет равным первоначальному. Число необходимых торможений в этом цикле является оценкой эффективности мокрых тормозов.

Дополнительные испытания автотранспортных средств, имеющих ограничители давления в тормозной системе или антиблокировочные системы, проводятся при торможении на повороте в режиме изменения ряда («переставка») и на дороге с разными коэффициентами сцепления под правым и левым колёсами. Испытания проводятся как с соединёнными двигателем и трансмиссией, так и с разъединёнными, а также с полной нагрузкой и без неё. За начальную скорость торможения принимается максимальная скорость, с которой автомобиль проходит заданный участок без заноса и опрокидывания.

Следует отметить, что экспериментальные данные по тормозным качествам автомобилей, отличаются от теоретических (расчётных). Это объясняется различной интенсивностью нагрева тормозов в реальных условиях движения, изменением развесовки по осям автомобиля, деформациями элементов тормозных устройств, попаданием влаги, не стабильностью давления в приводе тормозов (при изменении температуры окружающей среды) и др.

В настоящее время проведение тормозных испытаний за рубежом характеризуется наличием множества фирменных и национальных методик, отличающихся друг от друга по целому ряду основных положений, включая критерии оценки эффективности тормозных качеств, объёма и содержания работ по подготовке и проведению испытаний.

Учитывая исключительную важность вопроса надёжной и эффективной работы тормозных систем, подкомитетом по автомобильному транспорту Европейской Экономической Комиссии Организации Объединённых Наций разработан проект предписаний, относящихся к торможению автотранспортных средств, который к настоящему времени претерпел несколько редакций, незначительно отличающихся друг от друга. В указанном проекте предписаний изложены основные требования к конструкциям тормозных систем автомобилей и автопоездов, а также к некоторым элементам методики их испытаний, которая предусматривает испытания в последовательности, которая принята и в России:

- 1) подготовка автомобиля к испытаниям;
- 2) проведение стендовых испытаний по определению эффективности работы тормозов каждого колеса и одновременности их срабатывания;
- 3) проведение испытаний по определению эффективности "холодного" тормоза;
- 4) проведение испытаний по определению эффективности нагретого тормоза;
- 5) проведение испытаний по определению эффективности стояночного тормоза;
- 6) составление технического отчёта и заключения по результатам проведенных испытаний в соответствии с международными требованиями.

## **15. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА**

Комфортабельность – это эксплуатационное качество автомобилей, обуславливающее возможно малую утомляемость пассажиров и водителя при поездке в различных дорожных условиях, сохранность грузов, лёгкость и удобство управления, безопасность движения и способствующее повышению средней скорости.

Испытываются автомобили на плавность хода как в стендовых, так и в дорожных условиях. При этом записываются абсолютные и относительные перемещения, ускорения, скорости колебательных процессов и в результате обработки полученных материалов определяются необходимые параметры.

К параметрам, влияющим на плавность хода автомобиля, относятся:

- общие конструктивные (общая масса, величины поддрессоренных и неподдрессоренных масс и их распределение между передними и задними колёсами, база автомобиля, колея передних и задних колёс, положение центров тяжести (автомобиля, поддрессоренной массы, груза и пассажиров), момент инерции и радиус инерции поддрессоренной массы относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести поддрессоренной массы), положение центра тяжести и центров продольных колебаний кузова, распределение веса по осям и др.;
- упругие характеристики подвески (вертикальная и поперечная), радиальные упругие характеристики шин передних и задних колес, ход подвески до ограничителя), определяемые непосредственно на испытываемом автомобиле;
- характеристики агрегатов подвески, снятых с автомобиля (трение в подвеске, параметры элементов подвески, шин, амортизаторов и стабилизаторов); характеристики сидений.

Совокупность этих факторов делает оценку плавности хода весьма сложным процессом. Кроме того, в процессе движения многие факторы оказывают на организм человека различное влияние, зависящее от индивидуальных качеств каждого, поэтому исчерпывающей единой установившейся методики испытаний автомобилей на плавность хода нет. Однако, основные методы определения параметров, от которых зависит комфортабельность автомобиля, детально разработаны, нормализованы и используются в международном масштабе.

### **15.1. Определение характеристик передней и задней подвесок**

В этом виде испытаний определяются: упругая характеристика подвески; радиальные упругие характеристики шин; характеристики колебаний подвески.

Упругой характеристикой подвески является зависимость между вертикальной нагрузкой, действующей на подвеску, и вертикальной деформацией подвески, измеренной над осью. Упругая характеристика снимается по отдельности для передней и задней подвесок. Для этого автомобиль устанавливается последовательно передними и задними колёсами на весы и загружается балластом до соприкосновения ограничителей хода с упорами. Затем автомобиль поднимается до того момента, когда показание весов станет равным весу неподдрессоренных частей.

После этого подвеску загружают (опуская таль) и отмечают перемещения точек кузова с левой и правой сторон над осью. Одновременно измеряется деформация шины по перемещению оси колеса.

Разность между перемещением кузова и деформацией шин будет деформацией подвески (для данной нагрузки). По результатам испытаний строится вертикальная упругая характеристика (рис. 108), на которой выделяется участок, ограниченный нагрузками для ненагруженного и полностью загруженного автомобиля.

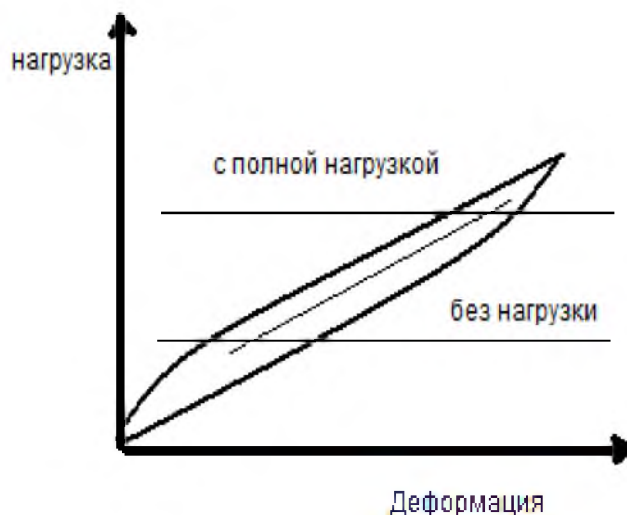


Рис. 108. Упругая характеристика подвески

Если характеристика нелинейна, жёсткость определяется, как касательная к средней линии, по которой берётся тангенс угла наклона этой прямой (рис. 109).

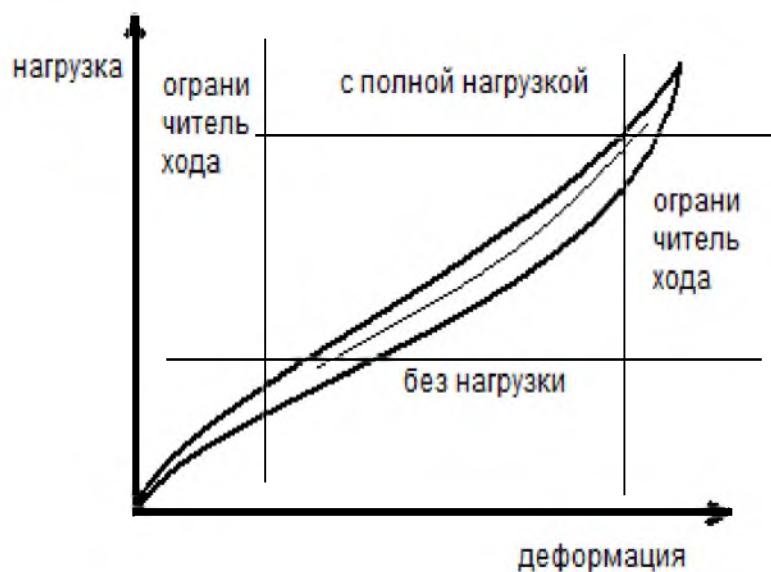


Рис. 109. Характеристика подвески с отметкой включения ограничителя хода



Радиальной упругой характеристикой шин называется зависимость между вертикальной нагрузкой на шины и их радиальной деформацией, измеряемой по перемещению центров колёс.

Характеристики шин снимаются одновременно с определением упругих характеристик подвесок. Можно снимать характеристики шин и на специальном стенде, имеющем вертикальное загрузочное устройство (рис. 110).

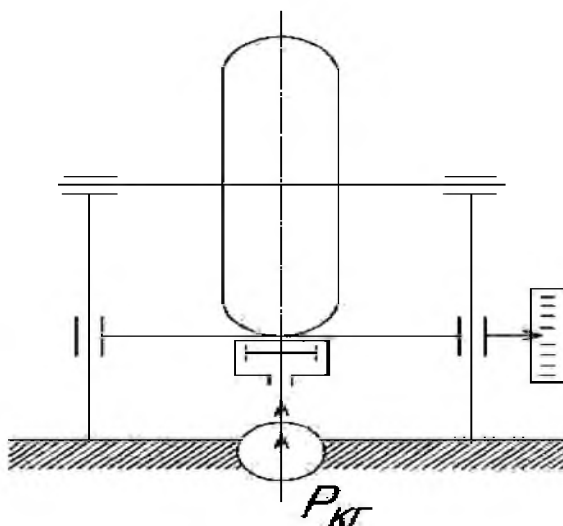


Рис. 110. Схема стенда с нагрузочным устройством на шину

Обычно упругая характеристика шины строится на графике упругой характеристики подвески (рис. 111).



Рис. 111. Совместная упругая характеристика подвески и шины

Такая совмещённая упругая характеристика даёт наиболее полную картину вертикальной деформации упругих элементов подвески и шин.

## 15.2. Определение характеристик колебаний подвесок

Характеристиками колебаний подвесок автомобилей называются графики, содержащие кривые собственных вертикальных колебаний точек кузова (или других поддрессоренных частей), расположенных над центровыми линиями передних и задних колёс. По этим характеристикам определяются низкие и высокие частоты собственных колебаний и показатели затухания колебаний в подвеске. Характеристики обычно определяются методом «подтягивания». Для этого автомобиль устанавливается на горизонтальную площадку и его кузов подтягивается вверх (талью или другим приспособлением) на высоту 60...80 мм. Затем кузов резко освобождается электромагнитным замком и совершаемые им колебания низкой частоты фиксируются.

Следующим этапом испытаний является подтягивание автомобиля вниз на величину до 30 мм каждого колеса. Колеса освобождаются одновременно.

Колебания кузова и колёс (то есть поддрессоренных и неподдрессоренных масс) записываются на ленте или на вращающемся барабане (рис. 112). Для этого кузов и центры колёс соединяются с записывающим устройством системой тяг.

Испытания проводятся с полной нагрузкой в кузове и без неё.

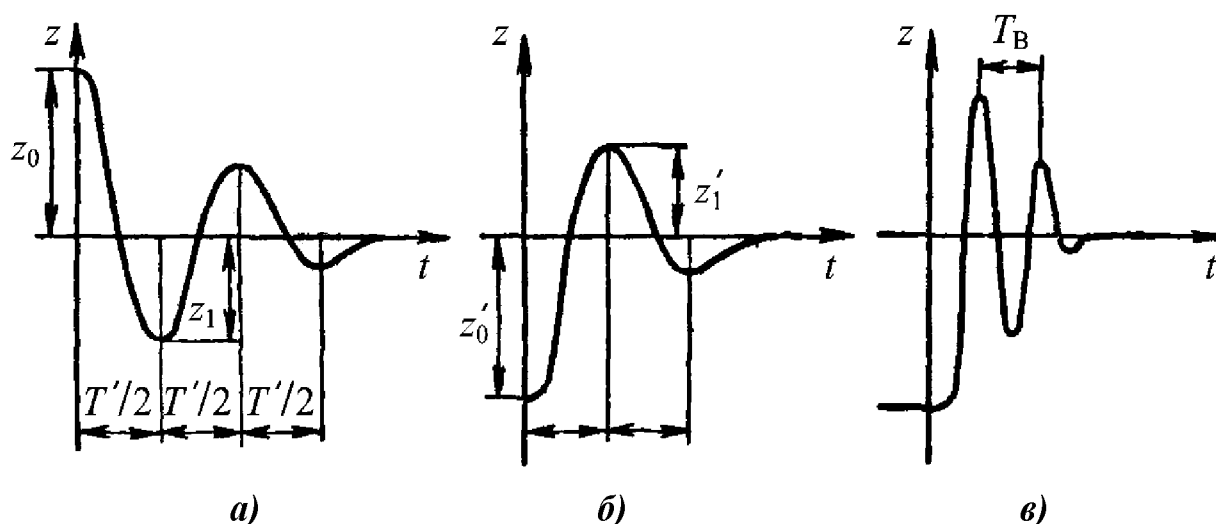


Рис. 112. Собственные вертикальные колебания кузова

По результатам испытаний с учётом масштаба времени определяются периоды низкочастотных  $T'$  и высокочастотных  $T_B$  колебаний (в секундах), частоты собственных колебаний (в Гц)  $n_H = 1/T'$  и  $n_B = 1/T_B$ , и декременты затухания колебаний кузова на ходе сжатия  $d_c = z_1/z_0$  и на ходе отбоя  $d_0 = z_1/z_0$ . При этом обязательно указывается высота подтягивания, а при сбрасывании, кроме того, и первый размах колебаний после сбрасывания. Методы подтягивания и сбрасывания, хотя и позволяют определять некоторые параметры, характеризующие колебания автомобиля, однако при них не воспроизводятся действительные условия работы

автомобиля (вызываются колебания только одной пары колёс и кузова над ними).

В реальных условиях вследствие воздействия дорожных неровностей вызываются колебания сначала передних, а затем задних колёс и соответственно кузова над передней и задней осями. Для имитации этого воздействия испытания проводятся на стендах, которые позволяют приблизить условия работы автомобиля к действительным (рис.113).

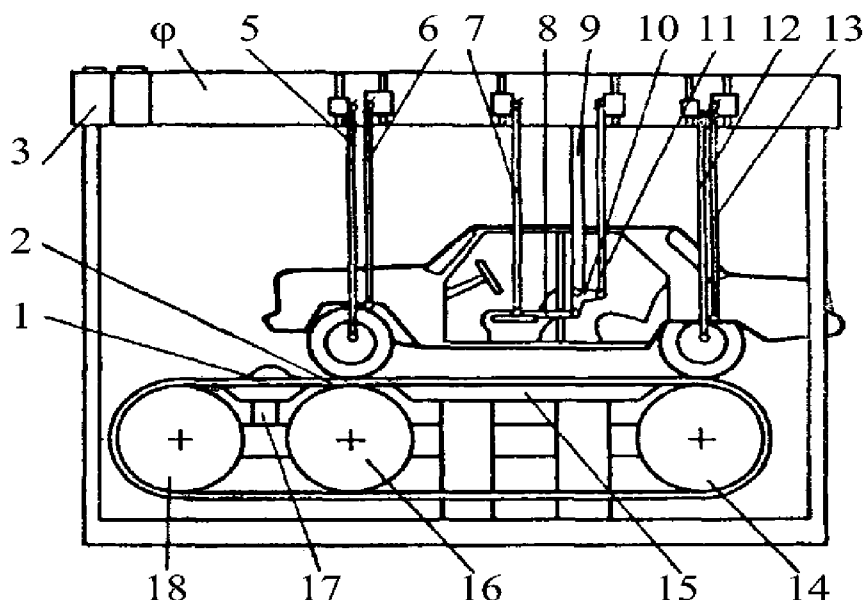


Рис. 113. Схема стенда с движущимися под автомобилем лентами

Автомобиль удерживается на стенде тросом. Его колёса устанавливаются на бесконечные ленты над опорными барабанами, при этом создаётся небольшое сопротивление движению лент под автомобилем. Неровности 1 на движущихся лентах 2 воздействуют последовательно на передние и задние колеса и возбуждают колебания автомобиля, которые регистрируются на бумажной ленте, перематываемой с постоянной скоростью электродвигателем 3. Дополнительно с помощью отдельных преобразователей регистрируются ускорения или скорости колебаний.

Система легких тяг с шарнирами на концах соединяет неподдрессоренные и поддрессоренные массы (в том числе площадку на подушке сиденья автомобиля) с самописцами, регистрирующими все процессы колебаний на одной ленте. Ось переднего колеса автомобиля с помощью тяги 5 соединена с механическим самописцем, а кузов над колесом – тягой 6 с соседним самописцем. Колебания задних колес регистрируются самописцем 12, а кузова – аналогичным устройством 13.

Для записи колебаний подушки сиденья на неё помещается плита, к которой прикладывается нагрузка, составляющая примерно 52 кгс (например, закрепляют манекен). Тягой 7 плита соединена с самописцем регистрации вертикальных колебаний, а тягой 8 и маятниковым подвесом, смонтированным на кронштейне 9 горизонтальных перемещений водителя. Маятниковый подвес 10 имеет ось качения и преобразует продольные перемещения в вертикальные. Тяга 11 соединяет

маятниковый подвес с самописцем продольных колебаний. Барабан 14 является ведущим и опорным для задних колёс автомобиля, а барабан 16 – опорным для передних колёс и может быть передвинут по раме стенда в зависимости от базы испытываемого автомобиля. Барабан 18 предназначен для натяжения дорожных лент и обеспечивает прямолинейный участок, по которому неровности попадают под передние колеса автомобиля в горизонтальном направлении. Тем самым имитируется движение по неровной дороге. Между барабанами стенда помещены поддерживающие столы 15 и 17, которые уменьшают провисание ленты. Дорожные ленты стенда могут приводиться в движение электродвигателем или ведущими колёсами автомобиля.

На таких стендах обычно записываются:

- 1) колебания колёс;
- 2) колебания точек кузова;
- 3) колебания манекена на сидении.

Величины ускорений определяются путём составления уравнения кривой амплитуд колебаний и его двукратным дифференцированием по времени. Интенсивность изменения ускорения (что важно для плавности хода) определяется трехкратным дифференцированием уравнения кривой по времени.

Методом сбрасывания определяются и центры продольных колебаний автомобиля. Поочередно сбрасывается передняя и задняя оси, у которых упругие элементы подвески освобождены. В каждом из этих двух испытаний записываются колебания точек кузова, расположенных над передней и задней осями (рис. 114).

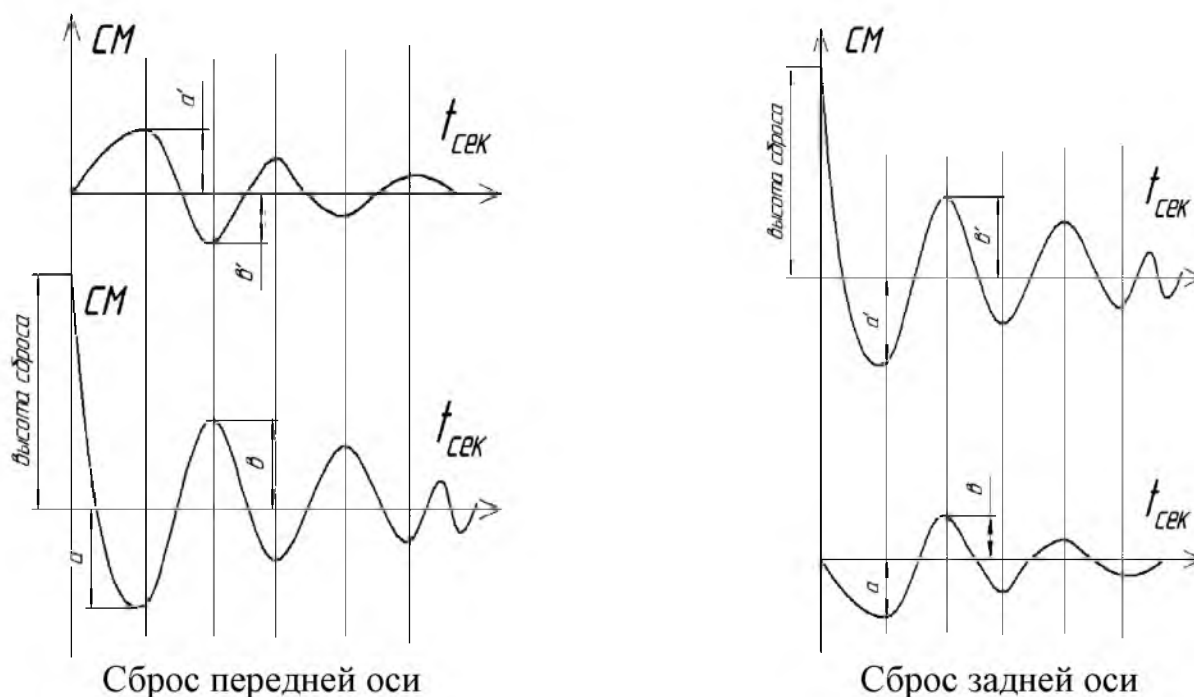


Рис. 114. Амплитуды колебаний над передней и задней осями:

$a$  и  $a'$  – амплитуды колебаний над передними колёсами;

$a'$  и  $a''$  – амплитуды колебаний над задними колёсами

Для определения центра колебаний откладывается отрезок, равный базе автомобиля в масштабе (рис. 115). В точке, соответствующей передней оси, на отрезке откладываются амплитуды « $a$ » и « $b$ », а в точке, соответствующей задней оси, откладываются амплитуды « $a'$ » и « $b'$ ». Соединяя концы амплитуд, соответствующих одним и тем же моментам времени, получим пересечения прямых в точках  $O$  и  $O'$ . Эти точки и есть внешний и внутренний центры колебаний.

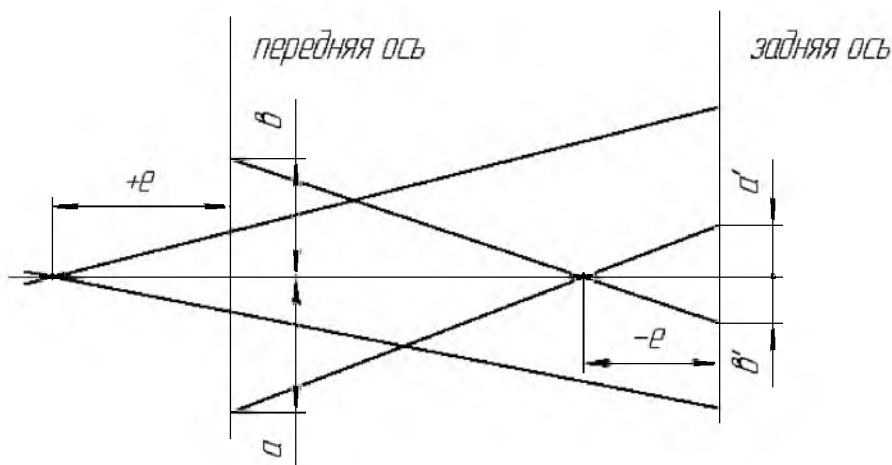


Рис. 115. Центры колебаний:

( $-e$ ) – положение центра колебаний при сбрасывании передней оси;

( $+e$ ) – положение центра колебаний при сбрасывании задней оси

Энергетическая оценка плавности хода может быть определена по соотношению между максимальной удельной энергией колебаний и удельной энергией колебаний, находящихся на пороге ощущения их человеком:

$$P = 10 \lg E/E_0,$$

где  $P$  – безразмерный энергетический измеритель интенсивности колебаний (он носит название «паль»);

$E$  – максимальная удельная энергия колебаний, представляющая собой абсолютную энергию колебаний, отнесенную к массе колеблющегося тела  $M$  и к периоду колебаний  $T$ ;

$$E = Mv_{max}^2/2MT = v_{max}^2/2T = 2\pi^2 h^2 n^3,$$

где  $v_{max}^2$  – максимальное ускорение колебаний;

$h$  – амплитуда колебаний;

$n$  – число колебаний в секунду.

Величина  $E_0$  на основании экспериментальных данных, для человека, лежащего на спине и подвергающегося вертикальным колебаниям, равна  $0,5 \text{ см}^2/\text{сек}^3$ .

В таблице 15 приведены ощущения среднестатистического человека.

Таблица 15

Число палей	Ощущение человека
0	Порог ощущений
10	
20	Допускаемые
30	
40	
50	Предельные
60	
70	Вызывают морскую болезнь
80	

Наиболее реальные оценки плавности движения определяются непосредственно в дорожных условиях при регистрации колебаний автомобиля на дорогах с различным покрытием (асфальт, булыжник, проселок, грунт). В дорожных испытаниях обязательно регистрируются:

- 1) вертикальные колебания кузова;
- 2) угловые колебания кузова;
- 3) ускорения точек кузова.

Испытания проводятся на дорогах, для которых имеются готовые статистические характеристики воздействия микронеровностей (спектры воздействия), либо при переезде единичных препятствий (обычно синусоидальных) – это даёт возможность сравнивать характеристики.

Для записи колебаний используются обычно индуктивные или реостатные датчики. Ускорения регистрируются тензометрическими акселерометрами.

У легковых автомобилей ускорения замеряются на переднем и заднем сидениях, у автобусов – на сидении водителя, на сидениях, которые расположены над передней осью, посередине базы и на самом заднем сидении, у грузовых автомобилей – на сидении водителя и в кузове над задней осью.

Легковые автомобили испытываются только с полной нагрузкой (если подвеску пробивает, нагрузку можно уменьшить), автобусы испытываются с полной нагрузкой и без пассажиров, грузовые – с грузом и без него.

В дорожных условиях движения автомобиль подвергается колебаниям низкой частоты (до  $15...18 \text{ Гц}$ ) и высокой частоты (вибрациям). Вибрационная чувствительность организма человека составляет  $15...1500 \text{ Гц}$ . С высокой частотой преимущественно колеблются неподрессоренные массы, а с низкой – поддрессоренные (кузов и его начинка). Вес неподрессоренных масс (мостов, колёс и др.) не

воспринимается подвеской, а передается через шину на опорную поверхность.

Вес поддрессоренных масс передаётся через упругие элементы подвески. Действие колебаний на организм человека зависит от их частоты, амплитуды, продолжительности и направления воздействия. В настоящее время нет единого мнения о пределах частот колебаний, которые соответствуют определенному виду воздействия на организм человека. Во время ходьбы человек испытывает колебания в вертикальном, продольном и в поперечном направлениях. Человек не ощущает колебаний при ходьбе, так как привык к частоте, которая составляет в зависимости от числа шагов в секунду 1,7...2,5 Гц. При спокойной ходьбе средние значения ускорений туловища вверх находятся в пределах 8...12 м/с<sup>2</sup>, а вниз – 3...7 м/с<sup>2</sup>. Средние ускорения колебаний головы вверх и вниз при ходьбе примерно одинаковы и составляют 5...8 м/с<sup>2</sup>. Влияние знакопеременных ускорений колебаний на организм человека в большой степени зависит от их частоты. С увеличением частоты (например, при быстром беге) даже небольшие ускорения колебаний могут вызвать неприятные ощущения. Максимальные ускорения в естественных условиях человек испытывает при прыгивании с высоты. При прыгивании с высоты 0,75 м ускорения достигают 30...35 м/с<sup>2</sup> в момент приземления. Но ускорения головы в этом случае примерно в 1,5 раза меньше, чем у туловища. Это объясняется тем, что центр тяжести головы смещён относительно позвоночника, и при вертикальных колебаниях туловища голова совершает угловые колебания. При длительной ходьбе человек утомляется не только от физической нагрузки, но и от колебаний туловища и головы. В тоже время ускорения колебаний, получаемые человеком при ходьбе и при беге, нельзя считать критериями оценки плавности хода транспортного средства.

При испытаниях по перемещениям отдельных точек автомобиля и циклограммам колебаний водителя или заменяющего его манекена можно определить виброскорости и ускорения колебаний кузова, колёс, сидений и водителя. Графическое определение скоростей, ускорений и скоростей изменения ускорений по записанным перемещениям отдельных точек является трудоёмкой операцией и не всегда обеспечивает необходимую точность.

Водителям и пассажирам автомобильного транспорта приходится длительное время находиться под воздействием колебаний и вибраций различной интенсивности. В этой связи особое значение приобретают испытания автомобилей на плавность хода, так как от их результатов зависят самочувствие человека и его утомляемость, а в конечном итоге, его здоровье.

В процессе испытаний регистрация ускорений производится при помощи преобразователей, которые монтируются на кузове, мостах и плите, расположенной на подушке сиденья.

Преобразователи для регистрации виброскорости позволяют получить данные для оценки воздействий этого параметра на человека. Кроме того, для регистрации колебательных процессов используется киносъёмка. Периодические колебания кузова и колёс автомобиля создаются на вибростендах.

Вибростенды применяются преимущественно со следующими возбудителями

колебаний: с шатунно-кривошипными механизмами, с гидропульсаторами, с вибраторами, имеющими неуравновешенные вращающиеся массы направленного действия, с вращающимися беговыми барабанами переменного радиуса. Случайные колебания масс автомобиля могут возбуждаться на стендах с гидровибраторами или гидропульсаторами. Записав на ленту магнитографа микропрофиль дорожного покрытия, его можно воспроизвести на стенде с помощью гидропульсаторов. Таким образом, можно оценить плавность хода автомобиля в лабораторных условиях. Это особенно важно при доводке новой модели автомобиля. На колебания автомобиля влияют положение центра масс и момент инерции кузова автомобиля относительно поперечной оси.

В дорожных испытаниях определяются вертикальные и горизонтальные ускорения, виброскорости и перемещения. В отраслевом стандарте автомобильной промышленности в качестве основных параметров плавности хода приняты среднеквадратичные значения вертикальных и горизонтальных ускорений. По записям процессов колебаний устанавливаются среднеквадратичные величины вертикальных, продольных и поперечных ускорений в диапазонах частот 0,7...22,5 Гц.

Автомобили перед испытаниями должны иметь пробег не более 10 000 км и износ рисунка протектора шины не более 20 %. Испытания автомобиля проводятся с номинальной полезной нагрузкой и в снаряженном состоянии с нагрузкой, которая включает водителя, экспериментатора и измерительную аппаратуру с питанием (масса аппаратуры и питания до 50 кг). При этом должны быть соблюдены заданные климатические и дорожные условия (температура воздуха – в пределах +5...+36° С, скорость ветра – до 5 м/с, осадки в виде снега и дождя исключаются). Испытания, как правило, проводятся на трех типах дорог, которые соответствуют дорогам 1-й категории, средним и тяжёлым дорожным условиям.

Легковые автомобили, междугородные и городские автобусы испытываются на асфальтобетонном покрытии хорошего состояния и на дороге с булыжным покрытием удовлетворительного качества, а легковые автомобили повышенной проходимости и автобусы местного сообщения – дополнительно на участках с изношенным асфальтовым покрытием. Для грузовых автомобилей используются дороги с асфальтобетонным покрытием с участками, имеющими хорошее состояние и изношенными. Дополнительно неполноприводные грузовые автомобили испытываются на булыжной мостовой плохого состояния (с буграми и ямами), а полноприводные – по разбитым грунтовым дорогам.

В качестве характеристик поверхности дорог принимаются спектральные плотности микропрофиля и другие показатели, определяющие степень воздействия дороги на автомобиль.

Скорости движения, при которых регистрируются показатели колебаний, устанавливаются с учётом категорий автомобиля и типа испытательного участка. Например, для легковых малолитражных автомобилей на дорогах с хорошим покрытием их принимают равными 50, 70 и 90 км/ч, а для городских автобусов – 30, 50 и 90 км/ч. На дорогах с изношенным асфальтовым покрытием для испытаний легковых малолитражных автомобилей установлены скорости 30, 45, 60 и 75 км/ч,



а для автобусов и грузовых автомобилей – 30, 45 и 60 км/ч. На участках с булыжным покрытием в плохом состоянии и на разбитых грунтовых дорогах скорости движения приняты равными 10, 20 и 30 км/ч. Длины испытательных участков, на которых записываются параметры плавности хода, установлены при испытаниях на хорошей дороге и ровном булыжном шоссе без выбоин равными 1000 м, а на дорогах других типов и меньших скоростях движения – 700, 500 и 250 м. Для измерения вертикальных ускорений на сиденьях водителя и пассажира устанавливается промежуточная плита, к которой прикрепляется преобразователь ускорений. У грузового автомобиля преобразователи ускорений располагаются на полу платформы над левым задним колесом и на левом лонжероне рамы над передней осью. Горизонтальные продольные ускорения определяются с помощью преобразователя ускорений, установленного на кронштейне кабины на уровне шеи водителя. Для обобщения показателей по плавности хода автомобиля по среднеквадратичным ускорениям, полученным на разных типах дорог с грузом и без груза, вводят весовые коэффициенты, учитывающие продолжительность испытаний на различных дорогах.

Преимуществом испытаний автомобилей на испытательных трассах является реализация условий близких к действительным условиям эксплуатации, хотя результаты таких испытаний не всегда можно сравнивать, так как профиль и состояние дорог в процессе эксплуатации изменяются. Более сопоставимые результаты могут быть получены при переезде единичных неровностей с регистрацией перемещений отдельных точек автомобиля относительно опорной поверхности и ускорений этих точек. Регистрируются колебания отдельных точек автомобиля различными способами. Наиболее простым и доступным является способ записи процессов колебаний, при котором используются специальные колёса или тележки, прикрепленные к кузову так, что они могут свободно перемещаться в вертикальном направлении относительно кузова автомобиля. Самопишущее устройство, расположенное на измерительном колесе или тележке, соединено тягами в определенных точках с кузовом автомобиля и осями колёс, колебания которых определяются. При расположении специальных колёс рядом с передней и задней осями можно определять угловые колебания кузова в продольной плоскости, а при установке колёс по обе стороны автомобиля – в поперечной. Синхронизация записи колебаний различных точек по времени производится при помощи отметчиков времени.

Поскольку колебания автомобиля возникают в основном при движении по дорожным неровностям, то при наезде жёстким колесом на неровность возникает сопротивление движению. При большой высоте неровности и малой скорости движения колесо может остановиться. В точке контакта колеса с неровностью возникают вертикальная и горизонтальная реакции. Для преодоления препятствия необходима вертикальная сила, способная поднять вес на высоту дорожной неровности. Часть веса кузова, приходящаяся на данное колесо, и есть вертикальная нагрузка со стороны автомобиля. Вертикальная сила, которая противоположна гравитационной силе, может быть вызвана энергией поступательного движения

автомобиля, то есть кинетической энергией, которая должна быть больше, чем необходимая для поднятия автомобиля на высоту неровности.

Энергия горизонтальной составляющей расходуется на поступательное движение и подъём колеса на неровность. Если автомобиль движется с достаточной скоростью, то после достижения колесом верхней точки препятствия вертикальная скорость колеса не равна нулю и колесо подскакивает вверх. Гравитационная сила останавливает вертикальное перемещение колеса и возвращает его в исходную позицию до контакта колеса опорной поверхностью.

Эластичное колесо, нагруженное упругим элементом подвески, например пружиной, и кузов автомобиля не поднимаются на высоту неровности. Вертикальная жёсткость колеса и пружины при определённых их параметрах не даёт колесу оторваться от дорожной неровности. Энергия, аккумулированная в упругом элементе подвески и в шине, после преодоления препятствия расходуется на поступательное движение автомобиля. В процессе деформации упругие элементы подвески и шины нагреваются из-за внутримолекулярного трения, и часть энергии безвозвратно теряется.

На твердом ровном дорожном покрытии применение жёстких шин способствуют уменьшению потерь, обусловленных сопротивлением качению. На дорогах с большими неровностями жёсткость колеса и подвески увеличивают энергию, затраченную на движение. В этом случае целесообразно иметь «мягкие» шины (с «мягкой» боковиной и низким давлением), которые достаточно хорошо сглаживают дорожные неровности. Вертикальная жёсткость как передней, так и задней подвесок современных автомобилей находится в пределах 20...60 кН/м, а вертикальная жёсткость шин – 200...450 кН/м (меньшие значения жёсткостей относятся к легковым, а большие – к грузовым автомобилям).

Некоторые современные модели автомобилей имеют подвески с регулируемой жёсткостью. «Мягкая» подвеска в момент переезда препятствия значительно деформируется. После переезда через препятствие колебания кузова при наличии «мягкой» подвески продолжаются, затухая весьма медленно. Для гашения начавшихся колебаний устанавливаются амортизаторы, которые могут иметь регулируемое сопротивление (активное демпфирование).

Шины влияют на высокочастотные колебания автомобиля. Для улучшения плавности хода целесообразно иметь шины возможно меньшей жёсткости. Для этого увеличивается ширина профиля шин и снижается давление воздуха в них. Применение независимой подвески передних колёс позволяет получить отношение статических прогибов передней и задней подвесок, близкое к единице. В результате при наезде автомобиля на препятствие галопирования практически не происходит, так как кузов перемещается параллельно самому себе. Установка независимой подвески для задних ведущих колёс значительно усложняет конструкцию привода колёс, поэтому в настоящее время она применяется для заднеприводных автомобилей только среднего и большого классов.

В качестве упругого элемента независимой подвески используются пружины, а в последнее время и упругие пневмоэлементы, реже – торсионы. Пружины и

торсионы имеют большую долговечность, практически не имеют внутреннего трения, просты в изготовлении и не нуждаются в техническом обслуживании.

Пневмоподвеска обеспечивает высокую плавность хода благодаря небольшой жёсткости, благоприятному характеру изменения упругой характеристики, а главное – возможности регулирования в широких пределах жёсткости подвески и положения кузова. Испытания автомобиля на стендах и на дорогах дают возможность оценить негативное влияние колебаний на человека и автомобиль, благодаря чему выбирается наиболее рациональная конструкция ходовой части.

Надёжность деталей подвески обычно определяет при испытаниях всего автомобиля в комплексе, однако, в ряде случаев возникает необходимость в специальных испытаниях подвески. Эти испытания осуществляются на дорогах, представляющих собой комплекс участков с разным покрытием, включая асфальт как хорошего качества, на котором автомобиль может развить высокую скорость, так и с выбоинами, вызывающими периодические ударные нагрузки. Значительная часть маршрута приходится на участки с булыжным покрытием, при движении по которым интенсивно нагружаются детали подвески. Кроме того, используются дороги со щебёночным покрытием, а также грунтовые дороги, имеющие загрязнённые участки. При этом для легковых автомобилей и автобусов маршрут по дорогам с неровным покрытием является минимальным, а для грузовых автомобилей, особенно для полноприводных, – довольно значительным. Грунтовые дороги позволяют в полной степени проверить работу шарниров и других трущихся элементов подвески в условиях загрязнения и пыли. В некоторых случаях, когда требуется осуществить испытания в сжатые сроки, организуются ускоренные испытания. Они на автомобильном полигоне в г. Дмитрове проводятся на комплексе специальных дорог («бельгийская» мостовая и «стиральная доска»), а в условиях дорог общего пользования, как правило, на булыжных покрытиях с просевшим основанием, вызывающих дополнительные нагрузки от «клеяков» и кренов автомобиля, что особенно важно при испытаниях шарниров и стабилизаторов поперечной устойчивости.

Перед испытаниями упругие элементы подвески подвергаются тарировке, снимаются характеристики амортизаторов. Затем они устанавливаются на автомобиль, который должен иметь номинальную нагрузку, распределённую по осям, как указано в паспорте, при этом давление воздуха в шинах должно соответствовать инструкции. Перед проведением испытаний автомобиль совершает обкаточный пробег 300...500 км по гладкой дороге с умеренной скоростью для осадки пружин и рессор, а также приработки трущихся поверхностей шарниров подвески и амортизаторов.

По результатам испытаний даётся заключение о соответствии параметров надёжности подвески или её элементов техническим условиям и, если это необходимо, разрабатываются рекомендации по её доработке.