

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

КОНСТРУКЦИЯ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:
С. В. КУРОЧКИН
Р. В. НУЖДИН
С. И. ТИМОФЕЕВА



Владимир 2013

УДК 629.33

ББК 39.33

К65

Рецензент

Кандидат технических наук,
доцент кафедры тепловых двигателей и энергетических установок
Владимирского государственного университета имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
М. С. Игнатов

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Конструкция и потребительские свойства автомобилей :
К65 метод. указания к лабораторным работам / Владим. гос. ун-т имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых ; сост.: С. В. Курочкин, Р. В. Нуждин, С. И. Тимофеева ; –
Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 40 с.

Изложены указания к выполнению лабораторных работ по оценке конструкции, потребительских и эксплуатационных свойств автомобилей. Содержат описания стендов и установок для определения параметров автомобиля, необходимых для анализа потребительских и эксплуатационных свойств.

Предназначены для студентов по направлениям подготовки 190600.62 – «эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (бакалавры), 190700.62 – «Технология транспортных процессов» (профиль «Организация и безопасность дорожного движения» (бакалавры), 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство» (инженеры), 190603 – «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» (инженеры) и 190702 – «Организация и безопасность движения» (инженеры).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 15. Библиогр.: 3 назв.

УДК 629.33

ББК 39.33

Лабораторная работа № 1

ТАРИРОВКА ТЕНЗОДАТЧИКОВ

Цель работы: изучить принцип работы измерительной и регистрирующей аппаратуры, применяемой при экспериментальных методах определения механических напряжений, усилий, деформаций во время испытаний автомобилей и их узлов, получить практические навыки по сборке измерительных схем, работе с тензоусилителями, осциллографами и тарировке тензорезисторов в лабораторных условиях.

Общие сведения

Во время испытаний автомобилей необходимо определять механические напряжения, усилия и деформации, возникающие при различных режимах работы.

Экспериментальное определение напряжений и усилий можно производить по величине деформаций. Датчиком измерения деформаций является тензометр. По величине относительного удлинения участка конструкции можно определить механическое напряжение, возникающее на данном участке.

Для материалов с высоким пределом пропорциональности зависимость относительной деформации от напряжения определяется законом Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где E – модуль упругости, МПа; ε – относительная деформация; σ – механическое напряжение, МПа.

Тензометры бывают механические, оптические, оптико-механические, электрические, пневматические и комбинированные. При испытании автомобилей наиболее широко применяют электрические тензометры, принцип действия которых основан на изменении омического сопротивления. Для измерения деформаций и усилий в конструкциях автомобилей используют тензорезисторы, омическое сопротивление которых изменяется при изменении геометрических

размеров чувствительного элемента. Наибольшее распространение получили проволочные тензорезисторы. Применяются также фольговые и полупроводниковые.

К материалу чувствительного элемента тензорезистора предъявляются следующие требования: высокая тензочувствительность (отношение изменения омического сопротивления к изменению геометрических параметров); высокое удельное электрическое сопротивление; низкий температурный коэффициент сопротивления; отсутствие химического взаимодействия с материалами датчика; линейная зависимость между деформацией и изменением сопротивления; достаточная механическая прочность.

Для изготовления тензорезисторов используют константан. Он отвечает указанным требованиям, но имеет низкое удельное сопротивление.

Относительное изменение сопротивления чувствительного элемента тензорезистора вызывается изменением его геометрических размеров под действием деформации детали, на которую наклеен тензорезистор,

$$dR = \frac{Fdl + Fd\rho - l\rho dF}{F^2}, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения проводника; l – длина проводника; ρ – удельное сопротивление.

Коэффициент тензочувствительности определяется как

$$S = 1 + 2\mu + V, \quad (3)$$

где μ – постоянная Пуассона, для материалов тензорезисторов $\mu = 0,25 \dots 0,4$; V – объем материала чувствительного элемента. Для константана $S = 2$.

Конструкция тензорезистора показана на рис. 1.

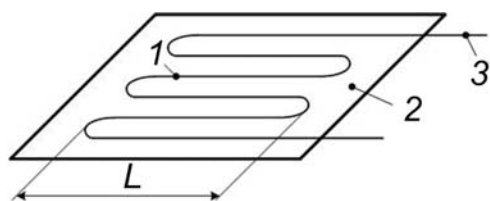


Рис. 1. Тензорезистор

Чувствительный элемент 1 закреплен на подложке 2 с помощью клея, выводные проводники 3 припаяны к концам чувствительного элемента. Длина участка подложки L , на которой размещен чувствительный элемент, называется базой тензорезистора.

Тензорезисторы бывают малобазные ($L = 5$ мм), со средней базой ($L = 15 \dots 25$ мм), с большой базой ($L = 30$ мм). Пример обозна-

чения тензорезисторов: 2ПКБ-10-200Х(Г), где П – обозначает, что чувствительный элемент изготовлен из проволоки; К – материал чувствительного элемента (константан); Б – материал подложки (бумага); 10 – величина базы (10 мм); 200 – номинальное сопротивление, Ом; Х – «холодный», т.е. применяется до температуры +30 °С.

Номинальный рабочий ток тензорезисторов обычно составляет 0,03 А, максимальные деформации чаще всего не превышают 0,3 %.

Кроме проволочных применяют фольговые тензорезисторы, например 2ФКПА-5-100Х, где Ф – фольговый чувствительный элемент; К – константан; П – прямоугольная форма (Р – розеточная, М – мембранная); 5 – база, мм; 100 – номинальное сопротивление, Ом;

Фольговые тензорезисторы имеют преимущества перед проволочными: возможность изготовления чувствительного элемента любой формы; отсутствие поперечной тензочувствительности; возможность увеличения рабочего тела за счет лучших условий теплоотдачи.

Тензорезисторы наклеивают на участок детали, где необходимо измерить местные деформации, усилия или моменты. Точность измерения зависит от качества подготовки поверхности под наклейку и качества сцепления датчика с поверхностью исследуемой детали. Удаляются выступы и впадины в зоне наклейки. Поверхность детали очищают напильником или шабером, чтобы на детали остались следы во взаимно перпендикулярных направлениях. Глубокие риски и царапины не допускаются. Обезжиривание производят ацетоном, толуолом, бензином или уайт-спиритом. Для обработки поверхности детали перед наклейкой датчиков используют мелкозернистую шлифовальную бумагу. При окончательной очистке поверхность промывают щеткой, смоченной в уайт-спирите. Продольную и поперечную оси наклейки тензорезистора размечают на зачищенной поверхности с помощью трафаретов. Технология наклейки включает в себя нанесение тонкого слоя клея на деталь и тензорезистор с последующей просушкой в течение 30 – 40 мин. Обычно наносят три слоя клея. Последний слой сушат до состояния липкого загустевания, после чего тензорезистор накладывают на деталь и слегка прижимают. Сушка приклеенного тензорезистора выполняется при постоянном равномерном давлении, приложенном к нему. Для приклеивания применяют клеи холодного отверждения (целлулоидные, циакриновые и др.)

или клеи, требующие дополнительной термообработки.

Для измерения деформации, силы или момента тензорезисторы включают в мостовую схему по одному, два или по четыре. Деформация детали в месте наклейки тензорезистора передается чувствительному элементу, который, изменяя сопротивление, вызывает разбаланс моста. Напряжение разбаланса увеличивается и подается на регистрирующий прибор.

Описание установки

Установка (рис. 2) состоит из балки равного сопротивления изгибу 1 с наклеенными тензорезисторами 2, тензоусилителя и осциллографа. Тензорезисторы соединены в полумост. Вторую половину полумоста составляют обмотки трансформатора источника питания тензоусилителя. Для правильной сборки моста его выводы нумеруются (рис. 3). При деформации балки на диагонали моста появляется напряжение разбаланса V_p , которое усиливается и подается на осциллограф. В зависимости от деформации балки изменяется ток в цепи, значение которого отражается на экране осциллографа.

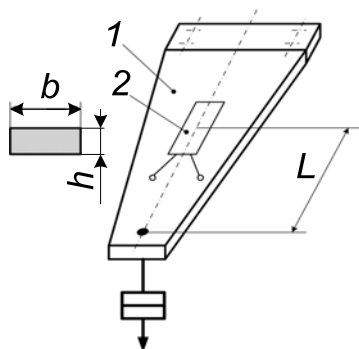


Рис. 2. Балка равного сопротивления изгибу

Оборудование

1. Балка равного сопротивления изгибу с наклеенными тензодатчиками.
2. Комплект грузов.
3. Тензометрическая станция ТА-5.
4. Лучевой осциллограф Н-115.

Порядок выполнения работы

1. Собрать измерительную схему (рис. 3).
2. Включить тензоусилитель и осциллограф в сеть.
3. Прогреть аппаратуру в течение 20 мин.
4. Проверить работу каналов тензостанции: поочередно подключить к контрольной приставке каждый из четырех каналов и в положении «К» (контроль) проверить показания миллиамперметра,

которые при исправном усилителе данного канала должны быть 30 мА.

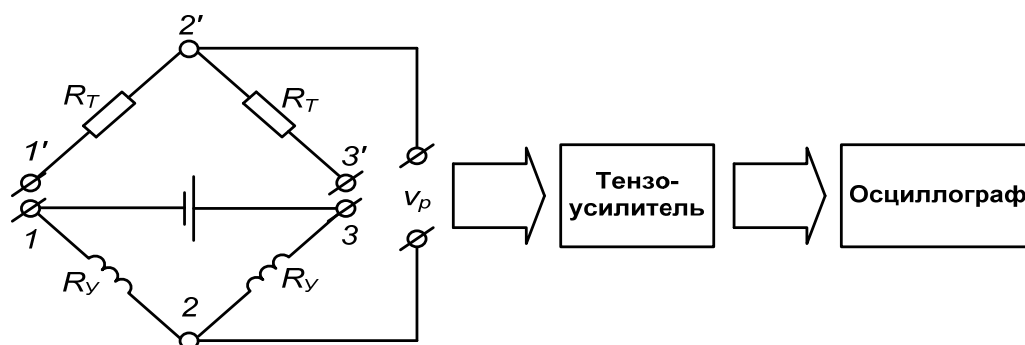


Рис. 3. Схема измерения

5. Отрегулировать "ноль" выбранного канала тензостанции по омическому R и емкостному C сопротивлениям. Если прибор на контрольной приставке зашкаливает, тензоусилитель немедленно выключить и проверить балансировку омического моста, устранить неисправность.

6. Подобрать гальванометр, обеспечивающий перемещение светового пятна на экране осциллографа на 80 – 100 мм, при коэффициенте усиления 5 и нагрузке балки полным комплектом грузов (50 Н).

7. Последовательно нагружая балку с интервалом 10 Н, фиксировать отклонение светового пятна, результаты замеров занести в таблицу:

Нагрузка P , Н	$M_{\text{изг}}$, Н·м	σ , МПа	ϵ_x	A , мм	ΔA , мм

Примечание: P – нагрузка на балку, Н; $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, Н·м; $M = Pl$, где l – расстояние от центра грузов до середины тензорезистора; σ – напряжение изгиба, МПа; $\sigma = M_{\text{изг}}/W$, где W – момент сопротивления сечения; $W = bh^2/6$, где b , h – ширина и высота сечения балки в месте наклейки тензорезистора; $\epsilon_x = \sigma/E$, где E – модуль упругости материала, МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; A – текущее положение светового пятна, мм; ΔA – приращение перемещения светового пятна, мм.

8. Построить тарировочный график $\sigma = f(\Delta A)$, рассчитать масштаб измерения $\mu = \sigma/\Delta A$ (МПа/мм).

9. Оформить отчет.

Контрольные вопросы

1. Что называется тензометром и тензорезистором?
2. На чем основано применение тензорезисторов?
3. Какова связь между напряжением и относительной деформацией?
4. Что называется базой тензорезистора?
5. В чем заключаются особенности монтажа тензорезисторов (правила подготовки поверхности, наклейки, сушки)?
6. Зачем производится регулировка "нуля" канала тензостанции?
7. Что служит второй половиной омического моста, кроме полумоста, состоящего из тензорезисторов?
8. Почему при тарировке применяют балку равного сопротивления изгибу?
9. Какие параметры можно измерить при испытаниях автомобилей с помощью тензорезистора?
10. Как необходимо наклеивать тензорезисторы при измерении крутящего момента?
11. Что необходимо предпринять, если омический мост не балансируется?
12. Почему нужна тарировка тензорезисторов?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В РЕССОРЕ ПРИ СТАТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Цель работы: получить практические навыки по работе с измерительной и регистрирующей аппаратурой, применяемой при испытаниях узлов автомобилей.

Общие сведения

Тензометрирование широко используется при проведении исследовательских испытаний автомобилей. Возможность определения напряжения экспериментальным способом на любом участке детали значительно расширяет возможности исследования работы деталей и узлов автомобиля с целью повышения их надежности и улучшения рабочих характеристик.

Настоящая работа является продолжением первой лабораторной работы, по результатам которой строится тарифовочный график тензорезисторов. Наклеивая на участке листа рессоры тензорезисторы такого же типа и с тем же коэффициентом тензочувствительности, что и на балку равного сопротивления изгибу, мы имеем возможность по величине перемещения светового пятна на экране осциллографа судить о механических напряжениях на участках рессоры. Коэффициент усиления тензоусилителя и параметры гальванометра осциллографа должны быть такими же, как и при тарифовке. В случае необходимости изменения коэффициента усиления масштаб регистрации соответственно меняется. Величина механических напряжений в детали зависит от изгибающего момента $M_{изг}$ и сопротивления сечения

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W}, \quad (1)$$

где W – момент сопротивления сечения листа рессоры,

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (2)$$

b – ширина листа рессоры, h – толщина.

Максимальный изгибающий момент (рис. 1) (в центре рессоры)

$$M_{max} = Pl/4, \quad (3)$$

где l – длина рессоры; P – вертикальная сила.

Максимальное напряжение

$$\sigma_{max} = M_{max}/W. \quad (4)$$

Для сравнения экспериментальных и расчетных значений напряжений необходимо знать усилия, их вызывающие. Регистрацию усилия необходимо производить с помощью динамометра перемещения, например динамометра системы ДОС (рис. 2), позволяющего определить усилия по величине перемещения, фиксируемого индикатором.

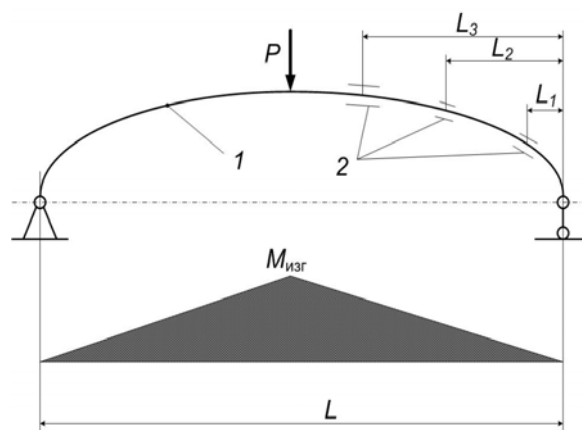
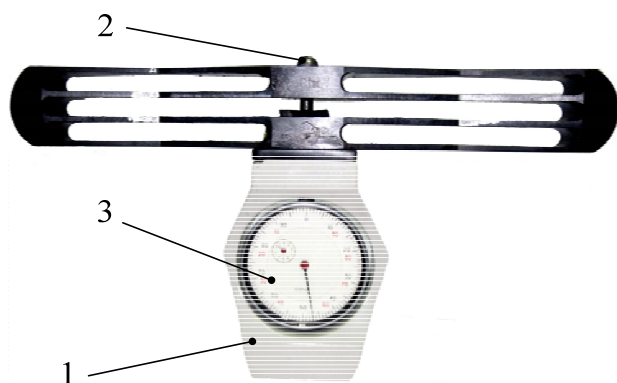


Рис. 1. Схема нагружения детали:
1 – лист рессоры; 2 – тензорезисторы



*Рис. 2. Динамометр системы ДЭС:
1 – корпус динамометра; 2 – центрирующий шарик; 3 – индикатор*

Деталь нагружают винтовым прижимом. Деформации детали воспринимаются наклеенными на ее поверхность тензорезисторами, при этом изменяется их омическое сопротивление. Количество пар тензорезисторов определяется числом участков детали, где требуется измерить напряжение. Тензорезисторы попарно включаются в омические полумосты и соединяются с каналами тензоусилителя.

Усилитель увеличивает напряжение разбаланса, возникающее вследствие изменения омического сопротивления тензорезисторов.

Описание установки

В состав установки входят: лист рессоры с наклеенными на трех участках тензорезисторами; винтовой прижим, создающий сосредоточенную нагрузку в центре листа; динамометр; тензоусилитель; осциллограф. На каждом участке по два датчика, образующих омический полумост.

Динамометр перед проведением измерений следует оттарировать, т.е. необходимо задаваемым значениям усилия определить соответствующие перемещения по индикатору.

Тензоусилитель четырёхканальный, состоит из четырёх самостоятельных блоков, в каждый из которых входят усилитель, внутренний омический полумост и источник питания.

Оборудование

1. Лист рессоры с тензодатчиками.
2. Винтовой зажим с динамометром.
3. Тензометрическая станция ТА-5.
4. Лучевой осциллограф Н-115.

Задание

1. Дать краткое описание измерительной и регистрирующей аппаратуры, составить блок-схему измерения механических напряжений.

2. Определить фактические напряжения на трех участках рессорного листа при различных нагрузках.
3. Рассчитать величину напряжений на этих участках при аналогичных нагрузках.
4. Построить эпюры расчетных и экспериментально-полученных напряжений.
5. Вычислить погрешность измерения.

Порядок выполнения работы

1. Подобрать параметры работы тензоусилителя так, чтобы они были такими же, как и при тарировке в лабораторной работе № 1.
2. Включить тензоусилитель и осциллограф в сеть.
3. Проверить работоспособность тензоусилителя на используемых каналах, не зашкаливает ли каждый канал на любом коэффициенте усиления, что может происходить при разбалансе моста за счет обрыва тензорезисторов или цепи омического моста. При зашкаливании немедленно канал отключить и устранить неисправность.
4. Установить "нуль" тензоусилителя на используемых каналах и выставить на экране осциллографа луч.
5. Записать значение напряжения разбаланса при ненагруженном рессорном листе.
6. Создать нагрузку на рессоре 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 Н поочередно и записать перемещение светового пятна.
7. Пользуясь тарировочным графиком, определить по перемещению каждого светового пятна фактические напряжения на участках рессоры при соответствующих нагрузках.
8. Определить погрешность измерений.
9. Построить эпюру фактических напряжений в рессоре.
10. Рассчитать напряжения на исследуемых участках рессоры и построить эпюру расчетных значений.
11. Результаты измерений представить в виде таблицы:

Номер датчиков	Эксперимент				Расчёт		
	$P, Н$	$A, мм$	$\Delta A, мм$	$\sigma, МПа$	ε	$M_{изг}, Н\cdot м$	$\sigma_p, МПа$

Примечание: P – нагрузка на рессорном листе; A – текущее положение светового пятна, мм; ΔA – приращение перемещения светового пятна, мм; σ –

механическое напряжение, определенное по величине ΔA и тарированному графику; ε – относительная деформация, $\varepsilon = \sigma/E$, где E – модуль упругости.

12. Оформить отчет.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит измерительная схема?
2. Каким образом согласовываются сопротивления гальванометра и внешней измерительной цепи?
3. Каким образом датчики подключены к тензоусилителю?
4. Как определяется работоспособность канала тензоусилителя?
5. Как связаны между собой собственная частота гальванометра и рабочая полоса частот тензоусилителя?

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА C_x ДОРОЖНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

Цель работы: изучить экспериментальные методы определения аэродинамического коэффициента C_x .

Общие сведения

Энергетические затраты на преодоление аэродинамического сопротивления различных автомобилей в общем балансе сил сопротивления движению составляют: в городских условиях – 17...21 %, при движении на автомагистралях – 43...50 %. Поэтому снижения расхода топлива можно добиться за счет улучшения аэродинамических качеств автомобиля, при этом возникает проблема определения коэффициента лобового сопротивления автомобиля. Отсутствие в настоящее время точных методов расчета аэродинамического сопротивления автомобиля вынуждает пользоваться существующими экспериментальными методами.

Аэродинамическая труба, как инструмент для исследования, обладает наибольшими возможностями, позволяет определить одновременно все компоненты аэродинамических сил и исключить помехи, вносимые погодными-климатическими условиями в реальных дорожных условиях. Не отрицая возможности аэродинамической трубы как основного инструмента экспериментальных исследований аэродинамики автомобиля, не стоит игнорировать исследования, направленные

на создание дорожных методов, позволяющих с минимальными затратами средств и времени определить некоторые аэродинамические параметры автомобиля и в первую очередь коэффициент аэродинамического сопротивления C_x .

Сложность реализации подобных методов заключается в том, что полное сопротивление движению автомобиля состоит из ряда нелинейных компонентов, которые следует экспериментальным путем разделить. Суммарные потери при движении автомобиля могут быть найдены методом выбега или методом буксировки. При использовании метода выбега автомобиль разгоняют до скорости свыше 90 км/ч и затем выключают сцепление. Силы, действующие на автомобиль при свободном выбеге, показаны на рис. 1. Уравнение движения автомобиля в этом случае имеет вид

$$\frac{G_a}{g} \delta_j \frac{dV_a}{dt} = -R_{X1} - R_{X2} - P_w^\Sigma, \quad (1)$$

где G_a – вес автомобиля; g – ускорение свободно падающего тела; δ_j – коэффициент учета вращающихся масс; dV_a/dt – замедление автомобиля при выбеге; R_{X1} , R_{X2} – силы сопротивления качению колес передней и задней осей соответственно; P_w^Σ – сила сопротивления воздуха, которая находится по выражению

$$P_w^\Sigma = \frac{C_x \rho}{2} F_a V_a^2, \quad (2)$$

где C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления; ρ – плотность воздуха; F_a – наибольшая площадь поперечного сечения автомобиля; V_a – скорость движения автомобиля.

Силы сопротивления качению колес передней оси – $R_{X1} = R_{Z1}f$; задней оси – $R_{X2} = R_{Z2}f$. Суммарная сила определяется по выражению:

$$\Sigma R_{X1,2} = R_{Z1}f + R_{Z2}f = G_a f,$$

где f – коэффициент сопротивления качению при больших скоростях движения. Значение коэффициента сопротивления качению при малых скоростях движения ($V_0 < 15$ км/ч) определяют методом выбега на той же дороге.

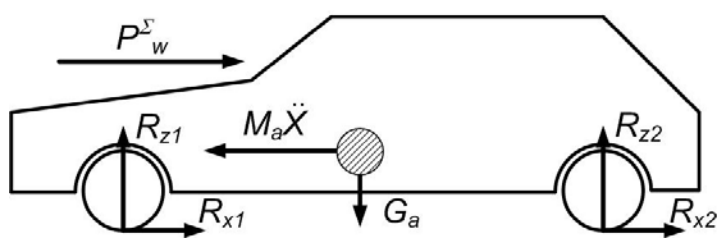


Рис. 1. Силы, действующие на автомобиль при свободном выбеге: M_a – масса автомобиля; \ddot{X} – замедление при выбеге

Уравнение движения автомобиля при свободном выбеге с малых скоростей движения (силой сопротивления воздуха пренебрегаем) имеет вид

$$\frac{G_a}{g} \delta_j \frac{dV_a}{dt} = -G_a f_0, \quad (3)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при малых скоростях движения.

Если выбег проводится до полной остановки, то после интегрирования уравнения (3) получим

$$f_0 = \frac{V_0 \delta_j}{tg}, \quad (4)$$

где V_0 – начальная скорость в режиме свободного качения; t – время выбега автомобиля при свободном качении до полной остановки.

Коэффициент учета вращающихся масс колес автомобиля при выключенном сцеплении

$$\delta_j = 1 + \frac{\sum I_k \cdot g}{G_a r_k^2}, \quad (5)$$

где $\sum I_k$ – сумма моментов инерции всех колес автомобиля (момент инерции колеса определяется на трифилярном подвесе); r_k – радиус колеса.

Из уравнения (1) находим

$$C_x = \frac{2G_a \left(-\frac{\delta_j}{g} \frac{dV_a}{dt} - f \right)}{\rho \bar{V}_a^2 F_a}, \quad (6)$$

$$f = f_0 \left(1 + \frac{\bar{V}_a^2}{1500} \right), \quad (7)$$

где \bar{V}_a – средняя скорость движения автомобиля за время Δt ; dV_a/dt – замедление автомобиля при падении скорости за тот же промежуток времени Δt .

Таким образом, для определения коэффициента аэродинамического сопротивления автомобиля необходимо экспериментально получить кривую изменения скорости во времени (рис. 2).

По полученной кривой находят замедление автомобиля на участке Δt : где ΔV – падение скорости движения автомобиля за время Δt .

Средняя скорость движения автомобиля:

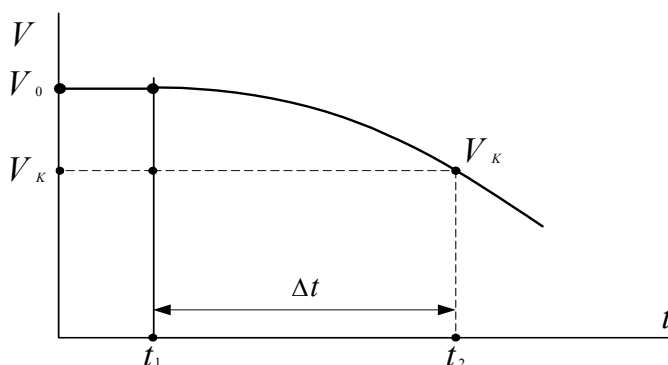


Рис. 2. Кривая изменения скорости автомобиля после выключения сцепления

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{V_k - V_0}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta V}{\Delta t}; \quad (8)$$

$$\bar{V}_a = \frac{(V_0 + V_k)}{2}. \quad (9)$$

Для исключения погрешностей в определении C_x (влияние профиля дороги, направления и силы ветра) выбег необходимо провести в прямом и обратном направлениях и найти среднее значение

$$\bar{C}_x = (\bar{C}_x + \bar{C}_x) / 2,$$

где \bar{C}_x – коэффициент аэродинамического сопротивления при выбеге в прямом направлении; \bar{C}_x – то же в обратном направлении.

Оборудование

1. Автомобиль.
2. Тестер Reiner 3000.
3. Секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать горизонтальный участок дороги (асфальт, бетон) протяженностью не менее 1 км.
2. Для уменьшения сил сопротивления в трансмиссии необходимо, чтобы перед экспериментом пробег автомобиля был протяженностью не менее 5 км.
3. Разогнать автомобиль до скорости 28 м/с и выключить передачу, одновременно включив тестер.

4. Определить по кривой затухания скорости V_0 , V_K и интервал времени Δt .
5. Определить замедление автомобиля в этом интервале по выражению (8).
6. Определить среднюю скорость движения автомобиля в интервале времени Δt по формуле (9).
7. По формуле (6) подсчитать аэродинамический коэффициент C_x .
8. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается сущность метода выбега?
2. Вывести уравнение для определения C_x методом выбега.
3. Как определить коэффициент сопротивления качению f ?
4. За счет чего изменяется f с увеличением скорости?
5. Из каких составляющих складывается сила сопротивления воздуха?
6. Как определяются силы сопротивления качению колес осей автомобиля?
7. Как определяется среднее значение замедления автомобиля в заданном интервале времени?
8. Какую часть в общем балансе сил сопротивления движению автомобиля составляют энергетические затраты на преодоление аэродинамического сопротивления при скорости 27 м/с ?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ

Цель работы: изучить экспериментальный метод определения координат центра масс автомобиля.

Общие сведения

Координаты центра масс (ц.м) оказывают существенное влияние на тяговую и особенно на тормозную динамичность автомобиля, плавность хода и его проходимость. Перераспределение вертикаль-

ных реакций дороги на передних и задних колесах в значительной мере определяется высотой центра масс. Координаты центра масс автомобиля зависят от его компоновки, а также от величины, расположения и удельного веса груза и, следовательно, значительно изменяются при эксплуатации автомобиля.

Координаты центра масс a и b (рис. 1) могут быть определены аналитически и графически по известному распределению масс по осям неподвижного автомобиля, находящегося в горизонтальном положении. Для определения высоты центра масс h_0 автомобиль взвешивают в наклонном положении.

Уравнение моментов относительно точки А (рис. 1) позволяет получить равенство $G_a a = G_2 L$, откуда

$$a = \frac{G_2}{G} L. \quad (1)$$

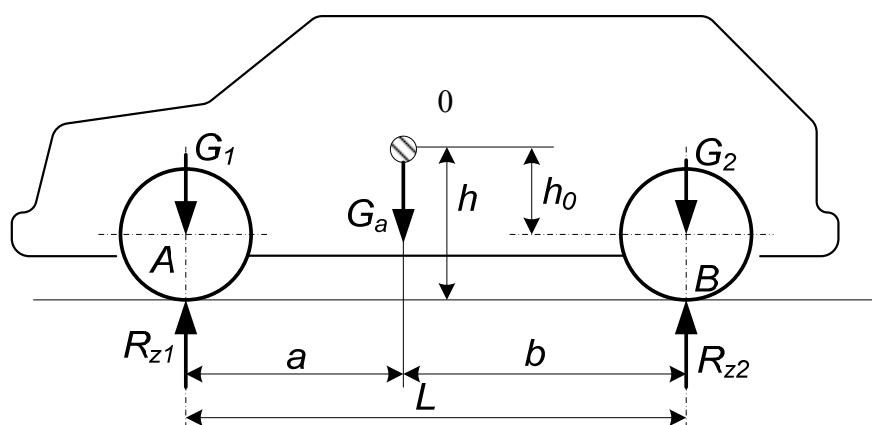


Рис. 1. Схема взвешивания автомобиля

Аналогично из уравнения моментов относительно точки В получим

$$b = \frac{G_1}{G} L, \quad (2)$$

где G_a – полный вес автомобиля; G_1 – вес автомобиля, приходящийся на переднюю ось; G_2 – вес автомобиля, приходящийся на заднюю ось; a – расстояние от середины передней оси до ц.м; b – расстояние от середины задней оси до ц.м; L – база автомобиля.

Высоту h_0 определяют относительно плоскости, проходящей через центры колес (рис. 2),

$$G_a \cos \alpha + G h_0 \sin \alpha - R_{z2} L \cos \alpha = 0, \quad (3)$$

где R_{z2} – реакция на задних колесах, определяемая взвешиванием автомобиля при поднятых на угол α передних колесах.

Учитывая соотношение (1), после преобразования находим

$$h_0 = \frac{(R_{z2} - G_2)L}{G \operatorname{tg} \alpha}, \quad (4)$$

тогда

$$h_{\text{ц.м}} = h_0 + r_{\text{ст}}, \quad (5)$$

где $(R_{z2} - G_2)$ – приращение вертикальной реакции на задних колесах за счет наклона автомобиля на угол α ; $r_{\text{ст}}$ – статический радиус колеса автомобиля при номинальном давлении в шинах.

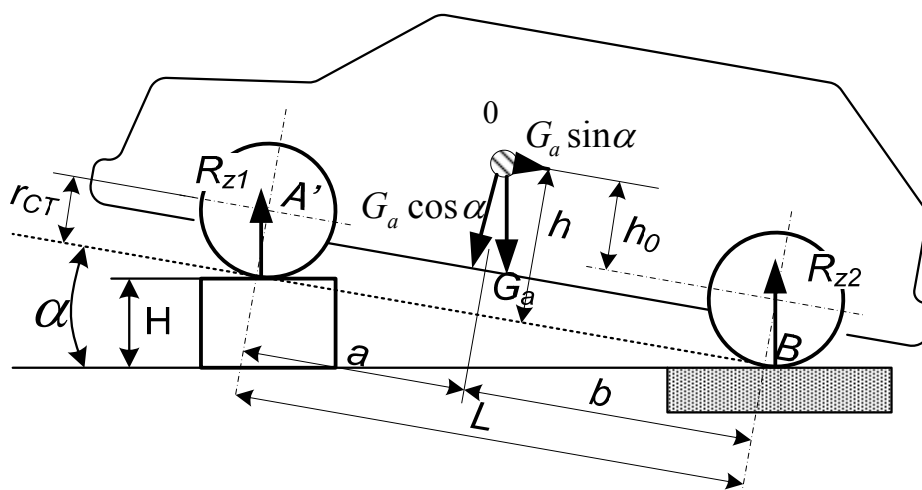


Рис. 2. Определение высоты центра масс автомобиля

В расчетах тормозных систем и конструкций, обеспечивающих плавность хода автомобиля, различают подрессоренные и не подрессоренные массы автомобиля.

Масса передних $m_{1Н}$ и задних $m_{2Н}$ не подрессоренных частей автомобиля включает массу всех деталей, нагрузка от которых не передается через рессоры. Масса подрессоренных частей автомобиля определяется как $m_{\text{п}} = M - m_{1Н} - m_{2Н}$.

Координаты центра подрессоренных масс рассчитываются по выражениям:

$$a_{\text{п}} = \frac{M_2 - m_{2Н}}{m_{\text{п}}} L; \quad b_{\text{п}} = \frac{M_1 - m_{1Н}}{m_{\text{п}}} L; \quad h_{\text{п}} = \frac{M}{m_{\text{п}}} (h_{\text{ц.м}} - r_{\text{ст}}), \quad (6)$$

где M – масса автомобиля, кг; M_1 , M_2 – масса, приходящаяся на переднюю и заднюю оси автомобиля соответственно.

Оборудование

1. Автомобиль.
2. Комплект подставок под колёса.
3. Комплект автомобильных весов ВА-15С-1.
4. Электротельфер.
5. Комплект грузов.
6. Рулетка.

Описание установки

Работа выполняется на весовых платформах ВА-15С-1, каждая из которых устанавливается под колесо автомобиля. Для измерения базы автомобиля, статических радиусов колес и высоты подъема передних колес при определении h_0 применяется рулетка. Автомобиль до номинальной грузоподъемности загружают балластом. Для подъема автомобиля применяют электротельфер, специальные подставки и башмаки под задние колеса.

Порядок выполнения работы

1. Установить автомобиль на весовые платформы и определить массу, приходящуюся на каждое колесо в снаряженном состоянии.
2. Определить массу, приходящуюся на переднюю и заднюю оси.
3. Измерить базу автомобиля.
4. Рассчитать координаты центра масс a и b .
5. Поднять переднюю ось на подставки, рассчитать значение и тангенс угла наклона автомобиля.
6. Измерить статические радиусы передних и задних колес.
7. Вычислить высоту центра масс автомобиля $h_{ц.м.}$.
8. Взвешивания и измерения произвести не менее трех раз, вычислить ошибку в определении $h_{ц.м.}$, a и b .
9. Загрузить автомобиль балластом до номинальной грузоподъемности. Повторить п. 1 – 8.
10. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Выведите формулу для определения координаты b центра масс.
2. Выведите формулу для определения $h_{ц.м.}$
3. Что относится к неподрессоренным частям автомобиля?
4. Как определяют координаты центра поддрессоренных масс?
5. От каких факторов зависят координаты центра масс автомобиля?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: изучить экспериментальный метод определения осевого момента инерции вращающихся частей автомобиля на трифилярном подвесе.

Общие сведения

Осевой момент инерции вращающихся деталей двигателя, трансмиссии и колес автомобиля оказывает значительное влияние на его динамичность. Как известно, разгону вращающихся деталей оказывает сопротивление инерционный момент M_j прямо пропорциональный осевому моменту инерции детали J и угловому ускорению ε :

$$M_j = J\varepsilon. \quad (1)$$

Например, на грузовых автомобилях вследствие большой величины суммарного осевого момента инерции маховика двигателя, деталей трансмиссии и колес, а также значительной величины передаточного отношения коробки передач на первой передаче ускорение при разгоне оказывается меньшим, чем на второй, поэтому грузовые автомобили обычно трогаются с места со второй передачи.

Аналогичное действие оказывает суммарный осевой момент инерции вращающихся деталей автомобилей при его торможении, уменьшая величину максимального замедления.

В теории автомобиля принято оценивать влияние осевых моментов вращающихся деталей коэффициентом учета вращающихся масс, показывающим, во сколько раз возрастает сила инерции, действующая на автомобиль, за счет наличия вращающихся масс

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + \frac{\Sigma I_{\text{м}} i_{\text{т}}^2 + I_{\text{к}}}{m R_{\text{к}}^2}, \quad (2)$$

где $\Sigma I_{\text{м}}$ – момент инерции маховика и деталей трансмиссии; $i_{\text{т}}$ – передаточное отношение трансмиссии; $I_{\text{к}}$ – суммарный момент инерции колес автомобиля; m – масса автомобиля; $R_{\text{к}}$ – радиус качения колеса; g – ускорение свободно падающего тела.

Величина осевого момента инерции деталей определяется расчетным путем, однако для деталей сложной конфигурации такие расчеты трудоемки, поэтому представляет интерес экспериментальное определение моментов инерции.

Описание установки

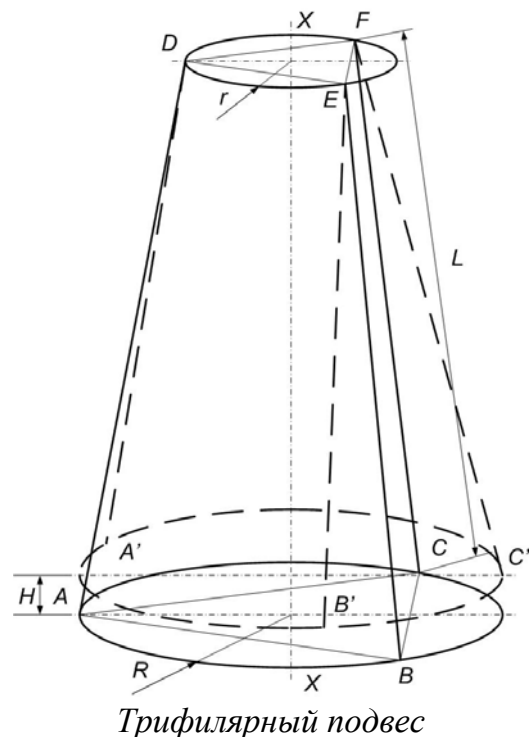
Осевой момент инерции определяется на трифилярном подвесе, состоящем из дисков (см. рисунок), один из которых закреплен неподвижно, а второй (нижний) подвешен на трех упругих нитях, расположенных в вершинах равносторонних треугольников. На нижний диск устанавливают деталь, момент инерции которой необходимо определить, располагая ее таким образом, чтобы нити подвеса были равномерно натянуты.

При повороте нижнего диска вместе с деталью на небольшой угол вокруг вертикальной оси $X-X$ нити подвеса принимают наклонное положение относительно положения равновесия, а центр масс системы перемещается вверх на величину H . Система приобретает потенциальную энергию

$$E = m_{\text{с}} g H, \quad (3)$$

где $m_{\text{с}}$ – масса системы (нижнего диска и детали), кг.

Обозначив длину нитей через L , расстояние от оси вращения $X-X$ до точек крепления нитей на верхнем и нижнем дисках соответственно через r и R , введя допущения, что при $L \gg H$, $AD = A'D = L$ и $\sin\theta = \theta$, получим



$$H = \frac{rR\theta^2}{2L}. \quad (4)$$

Если систему в таком положении освободить, то она начнет вращаться, совершая колебания относительно положения равновесия, кинетическая энергия определится как

$$E_2 = 0,5I_c\omega_c^2, \quad (5)$$

где I_c – осевой момент инерции системы, $\text{кг}\cdot\text{м}^3$; ω_c – угловая скорость системы в момент достижения положения равновесия, с^{-1} .

Пренебрегая работой сил инерции, трением в шарнирах и сопротивлением воздуха, приравняв выражения (3 и 5), получим

$$\begin{aligned} m_c g H &= 0,5I_c\omega_c^2, \\ I_c &= \frac{2m_c g H}{\omega_c^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

В определенном интервале времени система совершает гармонические незатухающие колебания, уравнение которых при нулевых начальных условиях имеет вид

$$\theta = \theta_0 \sin \frac{2\pi}{T_c} t, \quad (7)$$

где θ – угловое смещение системы в момент времени t , рад; θ_0 – угловая амплитуда колебаний, рад; T_c – период колебаний, с; t – текущее значение времени, с.

Угловая скорость колебаний, с^{-1} ,

$$\omega_c = \frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi\theta_0}{T_c} \cos \frac{2\pi}{T_c} t. \quad (8)$$

В момент прохождения системой положения равновесия, когда

$$T = T_c N/2, \quad (9)$$

где N – число полных колебаний системы $N = 1, 2, \dots$,

$$\cos 2\pi t = \cos \pi n = \pm 1;$$

$$\omega_c = \pm \frac{2\pi}{T_c}, \text{с}^{-1}. \quad (10)$$

Подставляя значение H , соответствующее углу θ , из выражения (4) и ω_c из (10) в уравнение (6), получим, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$:

$$I_c = \frac{m_c g R r T_c^2}{4\pi^2 L}. \quad (11)$$

Осевой момент инерции детали определяется вычитанием момента инерции нижнего диска из момента инерции системы, кг·м²:

$$I_k = I_c - I_d. \quad (12)$$

Поскольку масса нижнего диска, радиусы дисков r и R , а также длина нитей L известны, то для определения осевого момента инерции достаточно в процессе эксперимента определить период колебаний. Для этого необходимо измерить время, за которое система совершает полное число колебаний. Полное число колебаний фиксируется визуально, время – секундомером.

Порядок выполнения работы

1. Проверить правильность установки нижнего диска подвеса по уровню или биениям. Диск должен находиться в горизонтальной плоскости в состоянии покоя и при колебаниях.

2. Закрутить диск относительно вертикальной оси, затем его отпустить. Измерить время 20 – 30 полных колебаний диска. Замеры произвести не менее трех раз.

3. Рассчитать периоды колебаний в каждом из трех замеров $T_{д1}$, $T_{д2}$ и $T_{д3}$. Определить среднее арифметическое значение T_d , и по формуле (11) вычислить осевой момент инерции диска.

4. Установить на диск деталь, осевой момент инерции которой определяется. Центр тяжести детали должен совпадать с осью вращения диска подвеса.

5. Повторить п. 2 и 3 для системы, состоящей из нижнего диска подвеса и измеряемой детали.

6. Снять деталь и на весах определить ее массу.

7. По формуле (12) вычислить момент инерции детали относительно оси вращения, определить ошибку измерения.

8. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Как влияет осевой момент инерции вращающихся деталей на динамику автомобиля?

2. Почему коэффициентом учета вращающихся масс учитываются только осевые моменты инерции маховика (и связанных с ним деталей) и колес?

3. В чем заключается назначение трифилярного подвеса?

4. Принцип действия трифилярного подвеса.
5. Напишите уравнение гармонических колебаний при нулевых начальных условиях.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА

Цель работы: экспериментально определить радиальную, тангенциальную и боковую жесткости автомобильного колеса.

Описание установки

Автомобильное колесо 1 (см. рисунок), жестко связанное с балкой стенда 3, при помощи гидравлического домкрата 9 прижимается к подвижной площадке 2. Пневмоцилиндром 6 подвижная площадка вытягивается из-под колеса. Таким образом, домкрат создает радиальную нагрузку на колеса, а пневмоцилиндр – боковую нагрузку. По линейкам 4 и 5 регистрируются перемещение опорной площадки относительно основания и прогиб шины в радиальном направлении. Для определения тангенциальной жесткости колесо ставят продольно направлению перемещения подвижной площадки. Стенд оборудован пневматическим приводом, состоящим из компрессора 11 для создания необходимого давления воздуха, магистрального фильтра 12, разобщительного крана 13 для сброса давления из ресивера после окончания экспериментов, ресивера 14 для аккумуляции давления воздуха, крана управления пневмоцилиндром 15 и двухстрелочного манометра 8 для отслеживания показаний давления в контурах пневмопривода.

Жесткость колеса определяется как отношение нагрузки, действующей на колесо, к деформации колеса в направлении действия нагрузки:

$$C = \frac{\Delta P}{\Delta f}, \quad (1)$$

где ΔP – приращение нагрузки на колесо, Н; Δf – прогиб шины под нагрузкой, м.

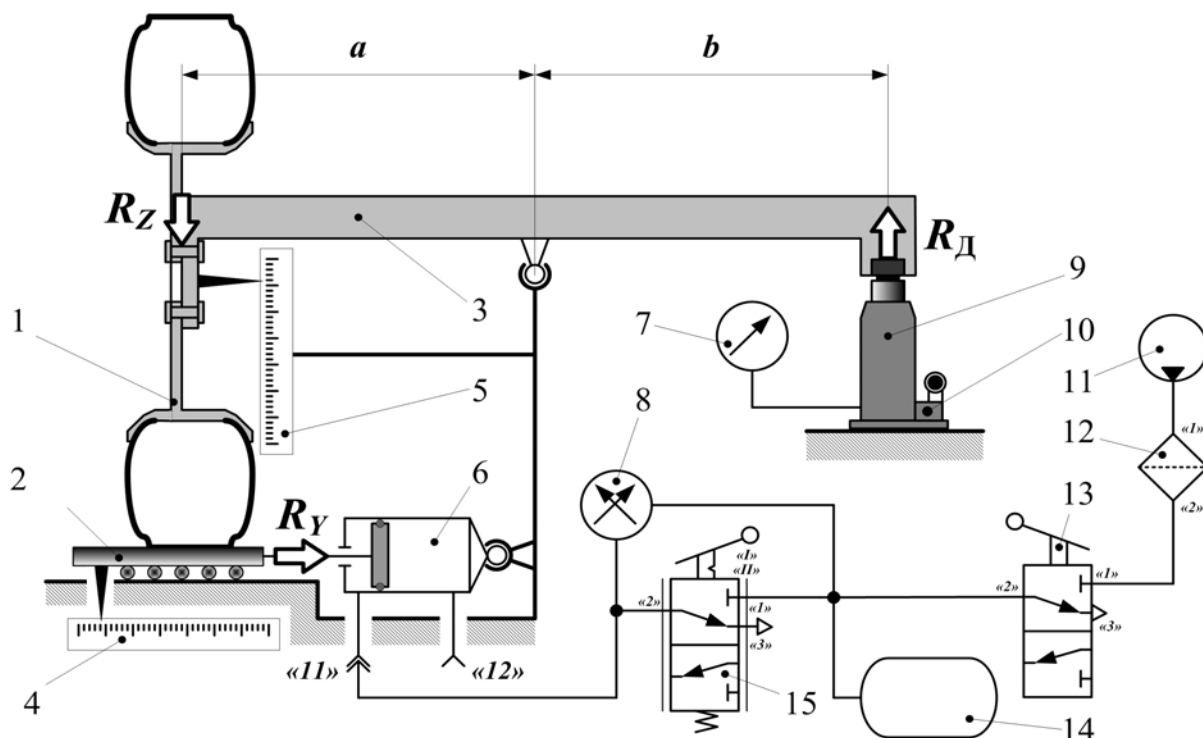


Схема экспериментальной установки для определения жесткости автомобильного колеса

При определении усилий во время проведения экспериментов на лабораторном стенде используются зависимости:

$$R_Y = p_B S_{\text{ПЦ}}; \quad (2)$$

$$R_Z = R_D i = p_{\Gamma} S_{\text{Д}} \frac{b}{a}, \quad (3)$$

где R_Y – усилие, создаваемое пневмоцилиндром, Н; p_B – давление воздуха в пневмоцилиндре, Па; $S_{\text{ПЦ}}$ – площадь поршня пневмоцилиндра (диаметр поршня определяется по заводской маркировке на корпусе), м^2 ; R_Z – вертикальная нагрузка на колесо, Н; R_D – усилие на штоке домкрата, Н; i – отношение плеч балки стенда; a , b – размер плеч балки; p_{Γ} – давление жидкости в домкрате, Па; $S_{\text{Д}}$ – площадь поршня домкрата (диаметр поршня равен 0,035 м), м^2 .

Порядок выполнения работы

1. Определение радиальной жесткости колеса.

Нагрузка R_Z в радиальном направлении создается домкратом 9. Величина этой нагрузки рассчитывается из соотношения плеч a и b по формуле (3). Сначала нагружают колесо от 0 до 2000 Н через 200 Н,

записывая при каждой нагрузке деформацию колеса f , определённую по линейке 5, а затем в обратном порядке его разгружают.

2. Определение боковой жесткости колеса.

Эксперимент по определению боковой жесткости проводится в следующем порядке:

1. Создать компрессором 11 давление в пневмоприводе 0,6 МПа. Давление проконтролировать по нижней стрелке манометра 8.

2. Подключить сигнальный шланг к выходу «11» пневмоцилиндра.

3. По указанию преподавателя установить нагрузку R_z домкратом 9.

4. По линейке 4 определить исходное положение колеса (координата горизонтального перемещения колеса $l = 0$).

5. Краном 15 повышать давление в пневмоциindre 6 до 0,5 МПа с шагом 0,1 МПа, при этом в каждой точке фиксировать значение l по линейке 4. Давление в пневмоциindre контролируется по верхней стрелке манометра 8.

6. После достижения давления в пневмоциindre 0,5 МПа сбросить краном 15 давление до нуля и переставить сигнальный шланг на выход «12» пневмоцилиндра 6.

7. Повторить измерения по п. 4 и 5.

8. Сбросить краном 15 давление до нуля.

9. Винтом 10 сбросить давление в домкрате.

10. Открыть разобшительный кран 13.

3. Определение тангенциальной жесткости колеса.

При определении боковой жесткости колесо ставят перпендикулярно балке, проводят измерения согласно методике, приведённой в п. 2 «б».

4. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Какова методика определения жёсткости колеса?
2. Из каких элементов состоит экспериментальная установка и каковы их функции?
3. Техника безопасности при проведении эксперимента.
4. Какие различают виды жёсткости колеса?
5. Как определить усилие, создаваемое гидравлическим домкратом станда?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ АВТОМОБИЛЯ

Цель работы: получить практические навыки по определению момента инерции автомобиля.

Общие сведения

Число возможных перемещений кузова и колес автомобиля весьма велико. Кузов, например, может испытывать поступательное перемещение вдоль трех координатных осей и угловые колебания вокруг них (рис. 1).

Колебания кузова в вертикальной плоскости XZ характеризуются поступательным перемещением вдоль вертикальной оси Z и угловыми колебаниями вокруг поперечной оси Y . Данные колебания оказывают основное влияние на плавность хода автомобиля.

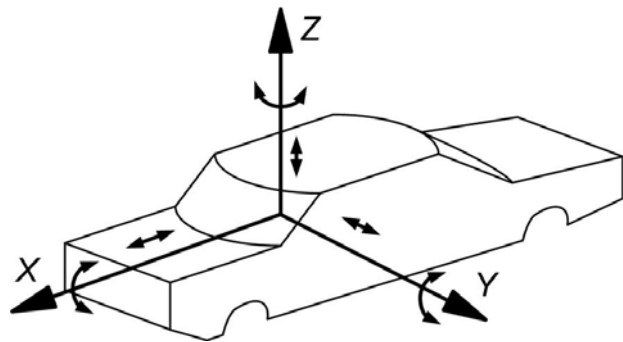


Рис. 1. Возможные виды колебаний кузова

Колебания кузова в поперечной плоскости YZ , характеризующиеся угловым перемещением β вокруг продольной оси X , влияют на управляемость и устойчивость автомобиля при действии боковых сил.

Колебательные перемещения кузова вдоль поперечной оси, соответствующие изменению координаты y , а также угловые колебания вокруг вертикальной оси Z влияют в основном на устойчивость и управляемость автомобиля.

Если, например, при неблагоприятном сочетании параметров автомобиля колебания вокруг вертикальной оси станут неустойчивыми, поступательное движение автомобиля будет сопровождаться раскачиванием, резко снижающим управляемость и устойчивость автомобиля.

Моменты инерции автомобиля I_x , I_y , I_z и его отдельных масс и вращающихся частей (маховик, колеса, гидротрансформатор и т.д.) определяют расчетным способом (при проектировании нового авто-

мобиля) или экспериментально – методом качания или крутильных колебаний на трифилярном подвесе.

Определить момент инерции автомобиля можно по его свободным колебаниям одним из следующих методов: на подпружиненной качающейся платформе; подвешиванием на пружине одной из осей автомобиля. При испытаниях автомобиля, подвешенного на пружине за передний бампер, он совершает колебания относительно задней оси (рис. 2).

Момент инерции автомобиля относительно поперечной оси определяется по формуле

$$I_y = C_{\text{пр}} \frac{T^2 L^2}{4\pi^2} - m_{\text{п}} R^2, \quad (1)$$

где $C_{\text{пр}}$ – жесткость пружины в подвесе ($C_{\text{пр}} = 500 \text{ Н/см}$); T – период колебаний автомобиля на подвесе, с; L – расстояние от оси пружины до оси качания, м; $m_{\text{п}}$ – масса поддрессоренных частей автомобиля, кг; R – расстояние от оси качания до центра тяжести автомобиля, м; $m_{\text{п}} = m_{\text{а}} - m_{\text{н}}$, где $m_{\text{а}}$ – масса автомобиля, кг; $m_{\text{н}}$ – масса неподдрессоренных частей автомобиля (50 кг).

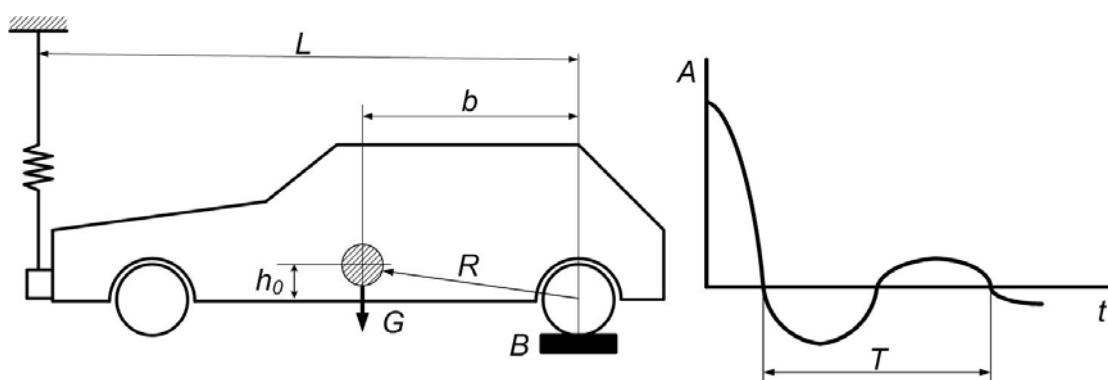


Рис. 2. Схема определения момента инерции автомобиля

Расстояние от оси качания до центра тяжести определяется по формуле

$$R = \sqrt{b^2 - h_0^2}, \quad (2)$$

где b – расстояние от оси задних колес до центра тяжести автомобиля (по горизонтали), м; h_0 – расстояние от оси, проходящей через центры колес, до центра тяжести автомобиля, м (определение параметров b и h_0 см. в лабораторной работе № 4).

Оборудование

1. Автомобиль.
2. Электротельфер.
3. Пружинный подвес.
4. Весы напольные.
5. Рулетка.

Порядок выполнения работы

1. Определить на весах массу автомобиля.
2. Установить автомобиль на горизонтальной площадке.
3. Прикрепить подвес к передней части автомобиля.
4. Поднять автомобиль при помощи электротельфера до отрыва передних колес на 5 – 10 см от пола.
5. Возбудить колебания передней части автомобиля на подвесе.
6. Подсчитать время двадцати полных колебаний (повторить измерения три раза).
7. Подсчитать среднее значение периода колебаний автомобиля на подвесе.
8. По формуле (1) определить момент инерции автомобиля относительно оси Y .
9. Подсчитать погрешность измерения момента инерции автомобиля:

а) относительная погрешность

$$\zeta = \frac{\Delta I_y}{I_y} = \sqrt{2\left(\frac{\Delta T}{T_{20}}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2}, \quad (3)$$

где ΔT – цена деления прибора при определении времени; T_{20} – среднее значение времени двадцати полных колебаний; l – расстояние от оси пружины подвеса до оси качания; Δl – цена деления измерительного устройства; ΔR – цена деления измерительного устройства при измерении расстояния; R – расстояние от оси качания до центра тяжести автомобиля;

б) абсолютная погрешность измерения момента инерции автомобиля

$$\Delta I_y = I_y \zeta, \quad (4)$$

где ζ – относительная погрешность; I_y – момент инерции автомобиля.

Окончательный результат записывается в виде

$$I_y = I_y \pm \Delta I_y, (\text{Н} \cdot \text{мс}^2).$$

10. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите факторы, вызывающие колебания кузова.
2. Как определяется момент инерции автомобиля относительно поперечной оси?
3. Что такое относительная и абсолютная погрешности измерения?
4. От каких параметров зависит относительная погрешность?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Цель работы: экспериментально определить комплексный параметр дискового тормозного механизма.

Общие сведения

Тормозные механизмы являются исполнительными органами автомобильных тормозных систем. С их помощью входное воздействие (усилие, создаваемое исполнительными органами тормозного привода) преобразуется в тормозной момент, приложенный к колесу и создающий искусственное сопротивление его вращению, а следовательно, и движению автомобиля.

Современный автомобильный тормозной механизм представляет собой фрикционное устройство, в котором искусственное сопротивление движению, связанное с колесом вращающегося элемента (ротора), создается за счет регулируемого трения об его элементы, базирующиеся на шасси автомобиля и входящие в статор тормоза. Статор тормоза передает при торможении реактивный момент на шасси автомобиля.

К фрикционным тормозным механизмам автотранспортных средств предъявляются следующие основные требования:

- высокая эффективность действия, т.е. создание большого тормозного момента;

- стабильность эффективности при изменении внешних условий и режима торможения (скорости автомобиля, количества торможений, температуры окружающей среды и трущихся элементов, наличия в тормозном механизме воды, пыли и т.д.);

- высокая надежность и долговечность трущейся пары;

- плавность действия;

- отсутствие при торможении вибраций, звуковых эффектов, выделения газов;

- способность за короткое время отводить в атмосферу значительное количество тепла;

- малая трудоемкость технического обслуживания и ремонта.

В тормозных механизмах создаваемый тормозной момент пропорционален подводимому давлению рабочего тела

$$M_T = B p, \quad (1)$$

где p – давление рабочего тела; B – коэффициент пропорциональности (комплексный параметр тормозного механизма).

Комплексный параметр зависит от типа тормозного механизма, от температуры и состояния фрикционных поверхностей. Зная его, по давлению в тормозном приводе можно определить момент, создаваемый тормозным механизмом.

Рассмотрим схему сил, действующих на колесо при торможении (см. рисунок). Сумму моментов, действующих на тормозящее колесо (моментами, создаваемыми естественными силами сопротивления движению, можно пренебречь), вычислим как

$$M_T - M_\phi - M_j = 0, \quad (2)$$

где M_T – момент, создаваемый тормозным механизмом; M_ϕ – момент, создаваемый силами сцепления шин с опорной поверхностью; M_j – инерционный момент колеса.

$$M_\phi = R_x R_d, \quad (3)$$

где R_x – тормозная сила на колесе; R_d – динамический радиус колеса.

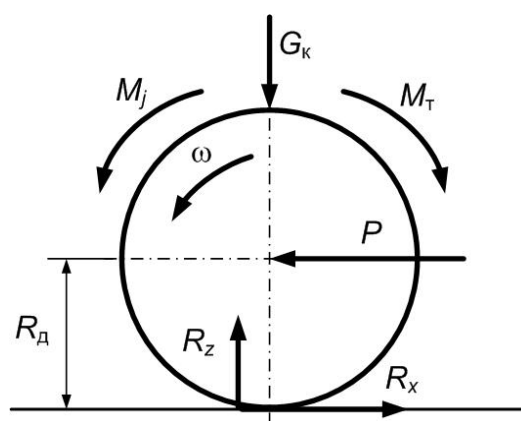


Схема сил, действующих на колесо при торможении

Инерционный момент колеса определяется по выражению

$$M_j = I_k \varepsilon, \quad (4)$$

где I_k – момент инерции колеса; ε – угловое замедление колеса. Для установившегося движения $M_j = 0$. Подставив все значения моментов в выражение (2), получим

$$Bp_j - R_x R_d = 0, \quad (5)$$

откуда

$$B = R_x R_d / p. \quad (6)$$

В данной лабораторной работе необходимо определить комплексный параметр тормозного механизма, используя формулу (6).

Описание экспериментального стенда

Работа выполняется на тормозном стенде. Два колеса передней оси легкового автомобиля прокатываются по беговым барабанам. В тормозном приводе устанавливается датчик давления тормозной жидкости, регистрирующий значение давления в приводе и подключённый к тензоусилителю. На персональный компьютер выводятся тормозные усилия на колёсах оси и давление в приводе. Этих параметров достаточно для определения комплексного параметра тормозного механизма.

Оборудование

1. Автомобиль.
2. Стенд тормозной СТС-10У-СП-11П.
3. Датчик давления.
4. Тензометрическая станция А17-Т8.
5. Персональный компьютер.

Порядок выполнения работы

1. Установить педальмер на тормозную педаль.
2. Установить автомобиль передней осью на ролики тормозного стенда.
3. Определить вес, приходящийся на проверяемую ось.
4. Запустить программу проверки рабочей тормозной системы.
5. Плавно нажимая на педаль тормоза, зафиксировать тормозные силы и давление в приводе при усилиях 50, 100, 150, 200, 250 и 300 Н.
6. Выключить тормозной стенд.

7. Рассчитать значения комплексного параметра тормозного механизма при различном усилии на педали тормоза.

8. Найти среднее значение комплексного параметра

$$\bar{B} = \sum B/n,$$

где n – количество измерений.

9. Оформить отчет.

Техника безопасности

При выполнении лабораторной работы особую опасность представляют ролики тормозного стенда. Поэтому запрещается приближаться к роликам при их вращении на расстояние менее 1 м. Под задние колеса автомобиля установить противооткатные упоры. При запуске стенда необходимо убедиться в безопасности окружающих.

Контрольные вопросы и задания

1. Как определяется комплексный параметр тормозного механизма?

2. Каких требований безопасности необходимо придерживаться при проведении эксперимента?

3. Почему необходимо определить среднее значение комплексного параметра?

4. Методика проведения эксперимента.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИНЫ С ДОРОГОЙ И КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЮ (В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ)

Цель работы: изучить экспериментальные методы определения коэффициента сцепления шины с дорогой и коэффициента сопротивления качению.

Общие сведения

Суммарная сила сопротивления движению автомобиля складывается из сил сопротивления качению колес и сопротивления подь-

ему, силы сопротивления воздуха и силы сопротивления разгону (силы инерции). Совокупность этих сил при определенной скорости движения автомобиля определяет необходимую мощность двигателя.

Силы сопротивления рассчитывают или определяют экспериментально. Сила сопротивления дороги включает в себя силу сопротивления качению и силу сопротивления подъему. Сопротивление качению шины по дороге является следствием затрат энергии на гистерезисные (внутренние) потери в шине и на образование колеи (внешние потери). Кроме того, часть энергии теряется в результате поверхностного трения шин о дорогу, сопротивления в подшипниках ступиц ведомых колес и сопротивления воздуха при вращении колес. Сила сопротивления качению условно считается внешней по отношению к автомобилю. Такое допущение упрощает выводы, не оказывая влияния на результаты расчетов.

Для оценки затрат энергии, связанных с качением колес, применяют коэффициент сопротивления качению f , величину которого определяют лабораторными (на стенде с беговыми барабанами) или дорожными испытаниями.

Коэффициент сопротивления качению – это отношение наименьшей горизонтальной силы, вызывающей равномерное качение колеса, к вертикальной реакции дороги.

Такое определение f позволяет получить его значение дорожными испытаниями: наименьшая горизонтальная сила фиксируется по показаниям динамометра, соединенного с буксирным тросом, а вертикальная реакция равна весу буксируемого с постоянной скоростью автомобиля.

Сила сопротивления подъему определяется как произведение массы автомобиля на синус угла подъема. Величина подъема рассчитывается как

$$i = H / B, \quad (1)$$

где H – высота подъема; B – длина основания подъема;

$$i = \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где α – угол подъема.

Для малых углов $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$, поэтому $i = \operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$, а сила сопротивления подъему

$$P_t = m g i, \quad (3)$$

где m – масса автомобиля.

Сумма силы сопротивления качению и силы сопротивления подъему называется силой сопротивления движению P_ψ . Коэффициенты сопротивления движению $\psi = f + i$, преодолеваемые автомобилем на первой передаче (ψ_{\max}) и при максимальной скорости движения ($\psi_{V_{\max}}$), являются важными показателями динамичности автомобиля.

В процессе дорожных испытаний автомобиля методом выбега с небольшой начальной скорости, когда сопротивлением воздуха можно пренебречь, определяется коэффициент сопротивления дороги, а также его составляющие: коэффициент сопротивления качению и величина подъема. Для этого автомобиль разгоняется до скорости 15...20 км/ч, после чего двигатель отсоединяется от трансмиссии, а движение продолжается по инерции (накатом).

Проецируя силы на плоскость дороги (см. рисунок), получим

$$m \frac{dV}{dt} = -P_\omega - P_\psi, \quad (4)$$

где P_ω – сила сопротивления воздуха ($P_\omega = 0$ при малых скоростях); m – масса автомобиля; dV/dt – замедление автомобиля.

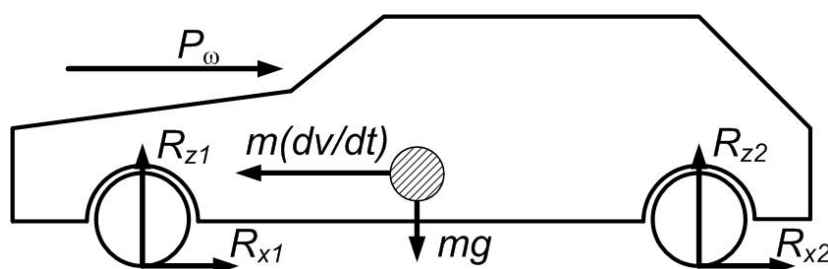
Учитывая, что $P_\psi = mg\psi$, получим:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -\psi g; \\ dV &= -\psi g dt. \end{aligned} \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (5) в пределах от V_H (начальная скорость) до V_K (конечная скорость) в интервале времени Δt , получим

$$\psi = (V_H - V_K) / (g\Delta t). \quad (6)$$

Повторяя заезды в противоположных направлениях, вычисляют коэффициент сопротивления качению f и величину подъема i на данном участке дороги. Коэффициент сопротивления качению f мало изменяется с изменением скорости от 0 до 16 – 22 м/с. В этом диапазоне его можно считать постоянным. При дальнейшем повышении скоро-



Силы, действующие на автомобиль при движении

сти f увеличивается, так как элементы шины не успевают полностью распрямиться в зоне контакта, и колесу возвращается меньшая доля энергии, затраченная на деформацию шины. Кроме того, при увеличении скорости деформации возрастает внутреннее трение в шине, вызывающее увеличение коэффициента сопротивления качению, для определения которого в зависимости от скорости можно применять эмпирическую формулу

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V_a^2}{1500} \right), \quad (7)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при малых скоростях движения; V_a – скорость движения автомобиля, м/с.

Рассмотрим взаимодействие колеса с дорогой при торможении. Для этого введем понятие сцепления колеса с дорогой как свойство нагруженного нормальной силой колеса передавать на дорогу касательное усилие и воспринимать продольную тормозную силу.

Количественно это свойство оценивается коэффициентом сцепления φ , одной из важнейших характеристик в теории автомобиля. Коэффициентом сцепления называется отношение результирующей реакции дороги $R_\Sigma = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ к соответствующему значению нормальной реакции R_Z . Иногда рассматривают отдельно:

- коэффициент продольного сцепления $\varphi_x = R_x / R_Z$;
- коэффициент поперечного сцепления $\varphi_y = R_y / R_Z$.

Рассмотрим коэффициент продольного сцепления φ_x , характеризующий тормозные свойства колеса. Следствием реакции R_x является тангенциальная деформация шины и скольжение ее элементов по дороге. Количественно это оценивается проскальзыванием S .

При тормозном моменте, равном нулю, колесо работает в ведомом режиме и передает на дорогу незначительную тангенциальную силу (приблизительно $0,015 - 0,020 R_Z$). Тангенциальная деформация шины мала, а значит, малы и текущие значения φ_x и S .

По мере роста тормозного момента возрастает продольная реакция, вызывая увеличение деформации шины и числа её скользящих элементов, что ведет к увеличению упругого проскальзывания. Коэффициенты φ_x и S растут пропорционально друг другу. Так продолжа-

ется до тех пор, пока взаимодействие между шиной и дорогой определяется трением покоя. Дальнейшее увеличение тормозного момента приводит к прогрессивному нарастанию числа скользящих элементов. В начале этого этапа продольная реакция достигает предела, соответствующего максимальному значению коэффициента сцепления φ . Торможение с таким моментом наиболее эффективно.

Если момент увеличить еще больше, начинают скользить все точки контакта, что является следствием уменьшения продольной реакции и коэффициента сцепления φ_x , поскольку определяющим становится трение скольжения, меньшее, чем трение покоя. Уменьшение продольной реакции R_x при росте тормозного момента приводит к падению эффективности торможения и быстрой остановке колеса в относительном движении, т.е. к его блокированию.

Эффективность тормозных систем при сертификации транспортных средств определяется дорожными испытаниями в соответствии с ГОСТ Р 41.13-2007 Единые предписания, касающиеся транспортных средств категорий *M*, *N* и *O* в отношении торможения. При этом покрытие испытательного участка дороги должно быть твердым, сухим, ровным, связанным и обеспечивать сцепление колес с дорогой, достаточное для достижения предписанной эффективности торможения, причем при контрольных торможениях не допускается доводить до блокирования колеса АТС.

Оборудование

1. Автомобиль
2. Измеритель эффективности тормозных систем автомобилей «Эффект»-02.01.
3. Динамический тестер-измеритель мощности двигателя Reiner-3000.
4. Секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Для выбранного участка дороги определить коэффициент сопротивления качению f (см. лабораторную работу № 3).
2. Определить весовые и геометрические параметры автомобиля:
 a – расстояние от центра масс до передней оси;

b – расстояние от центра масс до задней оси;

h – высота центра масс для данного весового состояния.

3. Отключить тормозные механизмы одной из осей.

4. Произвести серию торможений с регистрацией установившегося замедления. При этом давление в приводе ступенчато увеличивают при каждом заезде до достижения блокирования колес. Нажатие на тормозную педаль производится плавно, чтобы рост давления в приводе не опережал перераспределение масс по осям автомобиля в процессе торможения. Затем давление в приводе поддерживается постоянным до остановки автомобиля.

5. Определить установившиеся замедления: j_{\max} – замедление на грани блокирования; $j_{\text{БЛ}}$ – замедление при заблокированных колесах.

6. Определить коэффициенты сцепления по выражениям:

а) для передней оси:

$$\varphi_{\max} = \frac{1}{\frac{a}{L} \frac{g}{j_{\max}} + \frac{h}{L}}; \quad \varphi_{\text{БЛ}} = \frac{1}{\frac{b}{L} \frac{g}{j_{\text{БЛ}}} + \frac{h}{L}}; \quad (8)$$

а) для задней оси:

$$\varphi_{\max} = \frac{1}{\frac{b}{L} \frac{g}{j_{\max}} - \frac{h}{L}}; \quad \varphi_{\text{БЛ}} = \frac{1}{\frac{a}{L} \frac{g}{j_{\text{БЛ}}} - \frac{h}{L}}. \quad (9)$$

7. Оформить отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите силы сопротивления движению автомобиля.
2. Из чего складывается общая сила сопротивления дороги?
3. Дайте определения коэффициента сопротивления качению и коэффициента сцепления шины с дорогой.
4. От чего зависит коэффициент сцепления шины с дорогой?
5. В чем заключается методика определения коэффициента сцепления шины с дорогой?

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вахламов, В. К.** Конституция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – М. : Академия, 2007. – 560 с. – ISBN 978-5-7695-3793-6.
2. **Гришкевич, А. И.** Автомобили : Теория : учеб. для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск : Высш. шк., 1986. – 208 с.
3. **Кравец, В. Н.** Теория автомобиля : учеб. пособие / В. Н. Кравец ; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2007. – 368 с. – ISBN 978-5-93272-432-3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Тарировка тензодатчиков.....	3
Лабораторная работа № 2. Определение напряжений и деформаций в рессоре при статически приложенной нагрузке ..	8
Лабораторная работа № 3. Определение аэродинамического коэффициента C_x дорожными испытаниями.....	12
Лабораторная работа № 4. Определение координат центра масс методом взвешивания	16
Лабораторная работа № 5. Определение осевого момента инерции вращающихся деталей	20
Лабораторная работа № 6. Определение жесткости автомобильного колеса	24
Лабораторная работа № 7. Определение момента инерции автомобиля	27
Лабораторная работа № 8. Определение комплексных параметров тормозных механизмов	30
Лабораторная работа № 9. Определение коэффициента сцепления шины с дорогой и коэффициента сопротивления качению (в дорожных условиях)	33
Рекомендательный библиографический список	39

КОНСТРУКЦИЯ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:

КУРОЧКИН Сергей Васильевич
НУЖДИН Роман Владимирович
ТИМОФЕЕВА Светлана Игоревна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент А. Г. Кириллов

Редактор Е. А. Амирсейидова

Подписано в печать 18.01.13.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,32. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.