



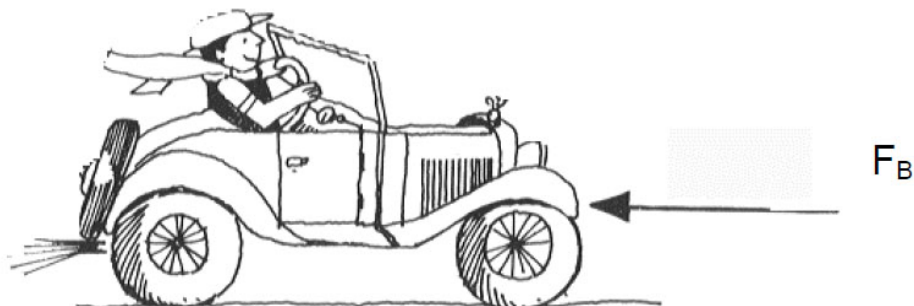
Азбука торможения

© 2002, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG

Все права защищены

1. Что такое торможение

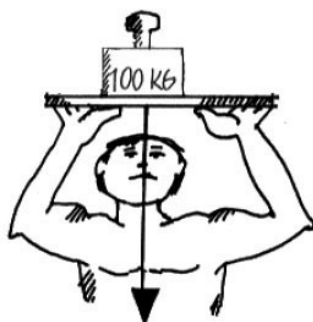
1.1 Тормозная сила F_B



Тормозная сила F_B необходима для снижения скорости автотранспортного средства, она всегда направлена против направления движения.

1.2 Единица измерения тормозной силы

Единицей измерения тормозной силы является величина Н (Ньютон - по фамилии английского учёного Исаака Ньютона)



$$F = 1000 \text{ Н} = 1 \text{ кН}$$

Сила в 1кН соответствует силе тяжести F_w тела массой 100 кг, что, если быть точнее, составляет 0,981 кН.

1.3 Различные варианты торможения

Есть много путей затормозить автомобиль; рассмотрим некоторые из них

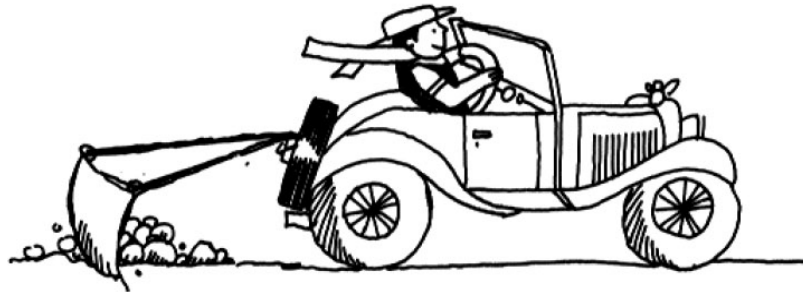
I. Болезненный и разрушительный вариант



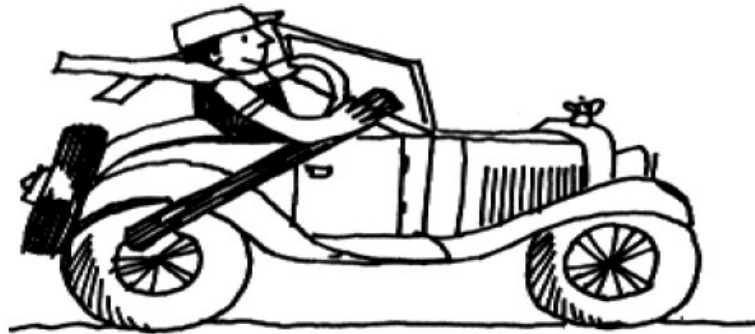
II. Слабозффективный вариант



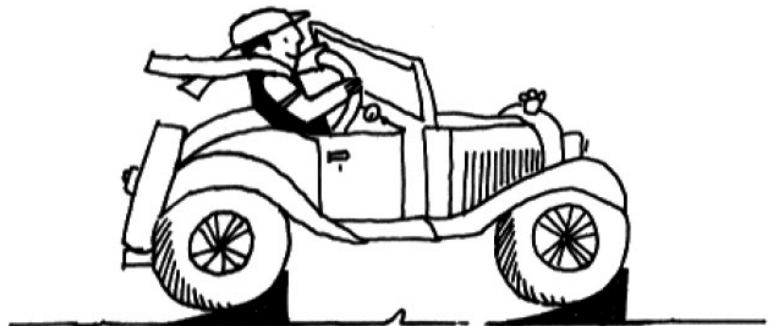
III. Жестокое обращение с дорогой



IV.



V.



Правильный вариант торможения показан на IV и V картинках: торможение колесами.

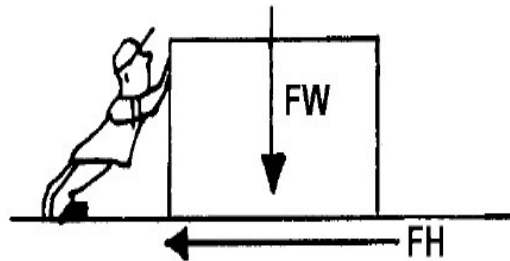
2 Как происходит торможение?

2.1 Физика

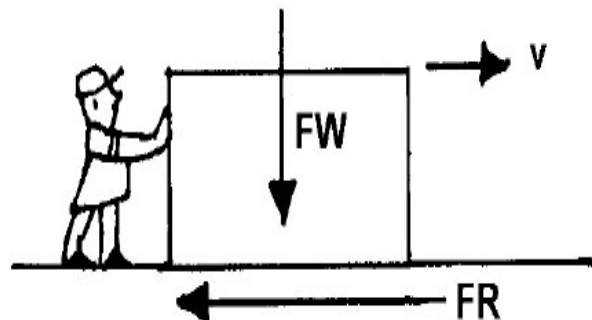
Вот некоторые основополагающие физические выкладки:

I Сила сцепления (трения покоя) F_H

Здесь скорость $V = 0$



II Сила трения скольжения F_R (процесс скольжение)



Для приведения предмета в движение требуется большее усилие, чем для того, чтобы сохранять его равномерное движение.

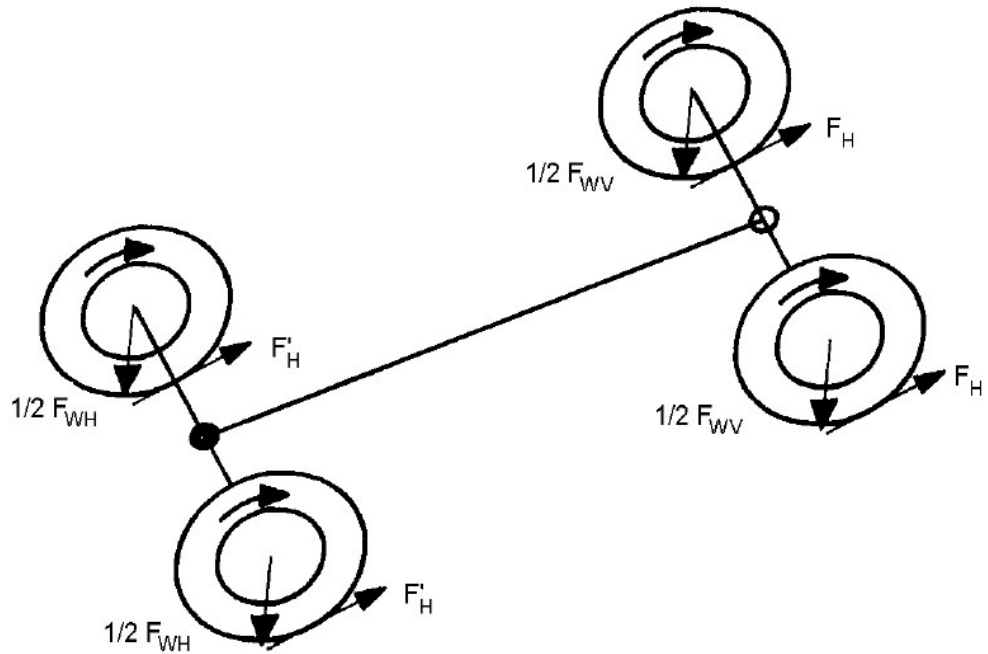
Сила трения и сила сцепления пропорциональны массе тела и зависят от характеристик трущихся и/или скользящих поверхностей (например, от неровностей)

$$F_H = \mu_H * F_w > F_R = \mu_R * F_w$$

(где μ_H – коэффициент сцепления, μ_R – коэффициент трения)

2.2 Действующие силы сцепления и трения при движении

Приведенный ниже рисунок показывает движение вперед на автомобиле без торможения; где F_{WH} - нагрузка на заднюю ось, а F_{WV} - на переднюю.



Силы сцепления и трения, действующие на каждое колесо, зависят, с одной стороны, от доли силы тяжести автомобиля, приходящейся на данное колесо (в самом простом варианте это осевая нагрузка, распределенная на каждое колесо оси), и, с другой стороны, от коэффициентов трения и/или сцепления между колесом и поверхностью.

Различные нагрузки на ось и различные свойства взаимодействующего с колесом покрытия влияют на изменение сил трения и сцепления.

2.3 Движение и торможение

Хорошую динамику и торможение автомобиль будет показывать при условии, что движущая и тормозящая силы будут оптимально передаваться на поверхность, по которой осуществляется движение.

Это происходит в идеальном случае – когда колесо катится с небольшим сцеплением по опорной поверхности и не скользит по ней (не пробуксовывает).

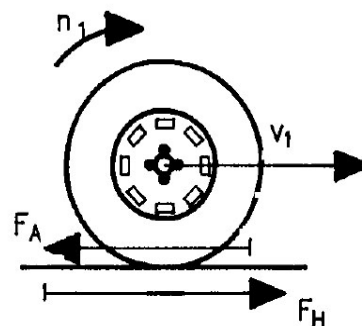
Скольжение и/или пробуксовка колеса появляются всегда в том случае, когда движущая сила и/или тормозное усилие, действующие на колесо, больше силы сцепления.

Тогда при разгоне будет происходить проворачивание колеса, а в случае торможения колесо будет в большей или меньшей степени скользить по поверхности, т.е. оно пройдет меньший путь, чем длина тормозного пути.

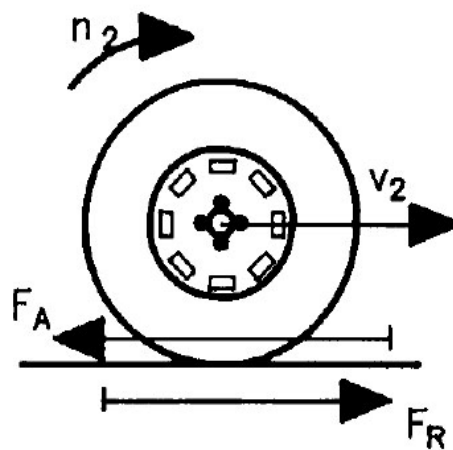
При блокировке колеса действует только слабая сила трения скольжения, и дальнейшее нажатие педали тормоза уже не дает эффекта. Движение в таком случае становится мало- или полностью неконтролируемым.

I Движение (движущая сила F_A)

Качение колеса



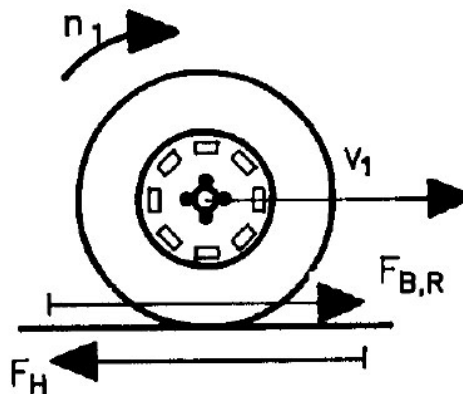
Проскальзывание (частичное скольжение)



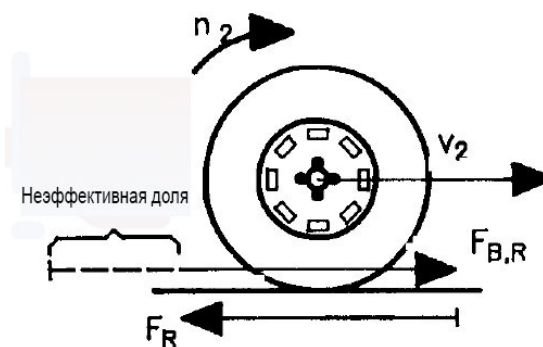
n_1 меньше, чем n_2 и v_1 больше, чем v_2

II Торможение (колесная тормозная сила $F_{B,R}$)

Качение колеса



Проскальзывание (частичное скольжение)



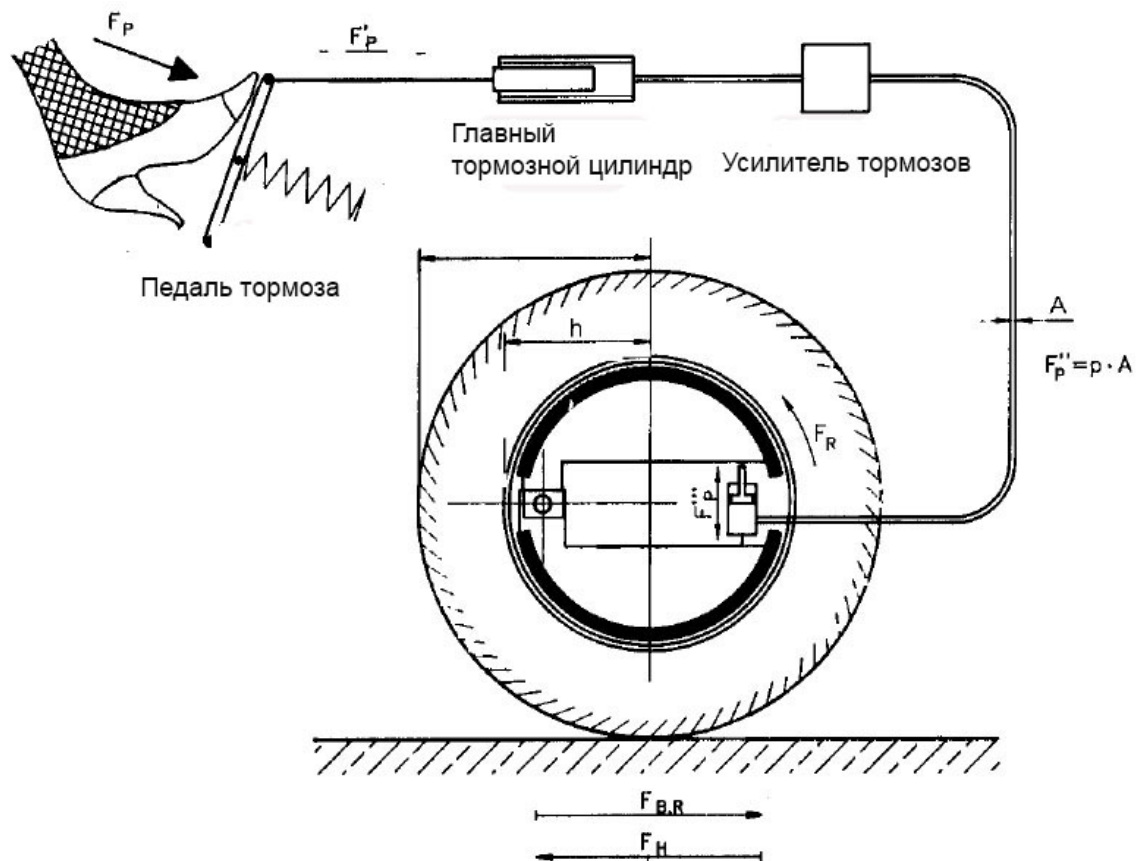
Примечание: Тормозная сила $F_{B,R}$ колеса никогда не может быть больше силы сцепления между колесом и поверхностью.

2.4 Создание тормозной силы

Тормозная сила $F_{B,R}$ в пятне контакта колеса с дорогой вызывается действующей на педаль тормоза силой F_P , увеличенной при помощи рычага и гидравлики до силы F_P^{III} , действующей на тормозную колодку, где, в свою очередь, и возникает сила трения F_R (здесь не должно возникать силы сцепления иначе колесо заблокируется).

Возникающий при этом вращающий момент относительно колесной оси ($M = F_R * h$) равен для вращающегося (без проскальзывания) колеса вращающему моменту $M = F_{B,R} * r$ (где r – это радиус колеса)

Итак: $F_{B,R} = F_R * h / r = f * F_P$ (где f это коэффициент усиления)

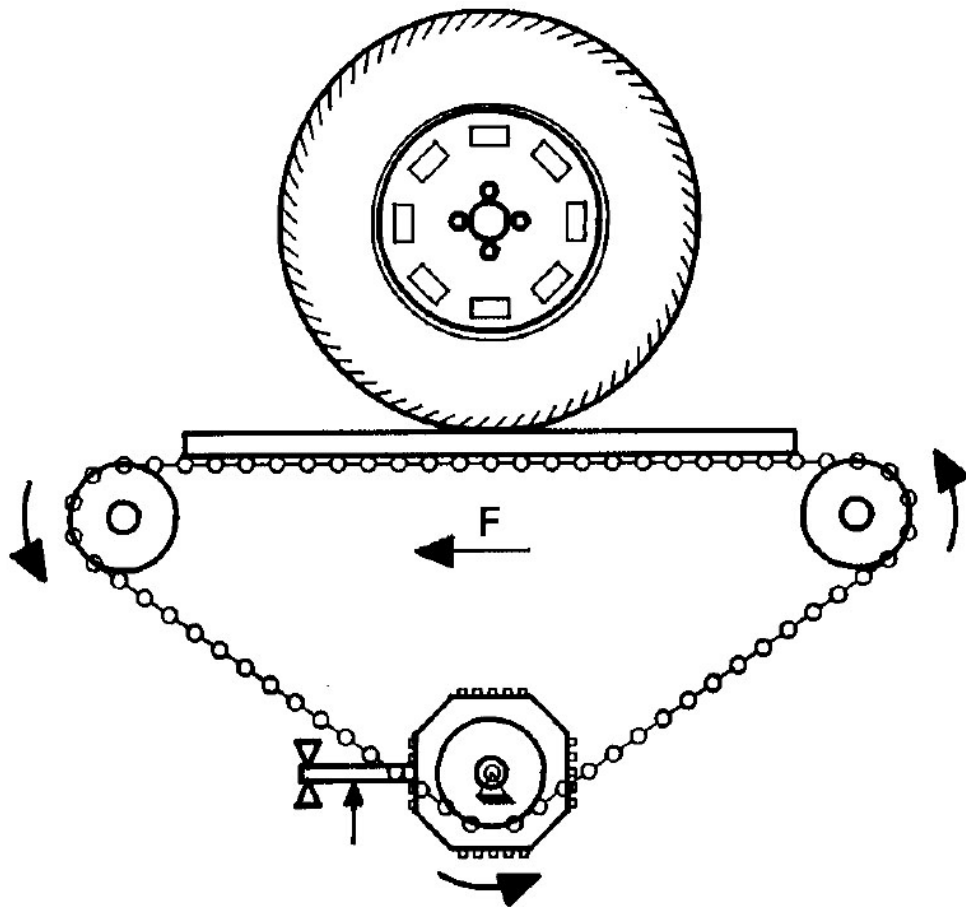


3 Как измеряют тормозную силу?

Важно, чтобы тормозные силы на колёсах одной оси были одинаковыми, чтобы избежать заноса. Поэтому на тормозном стенде каждое колесо измеряется отдельно.

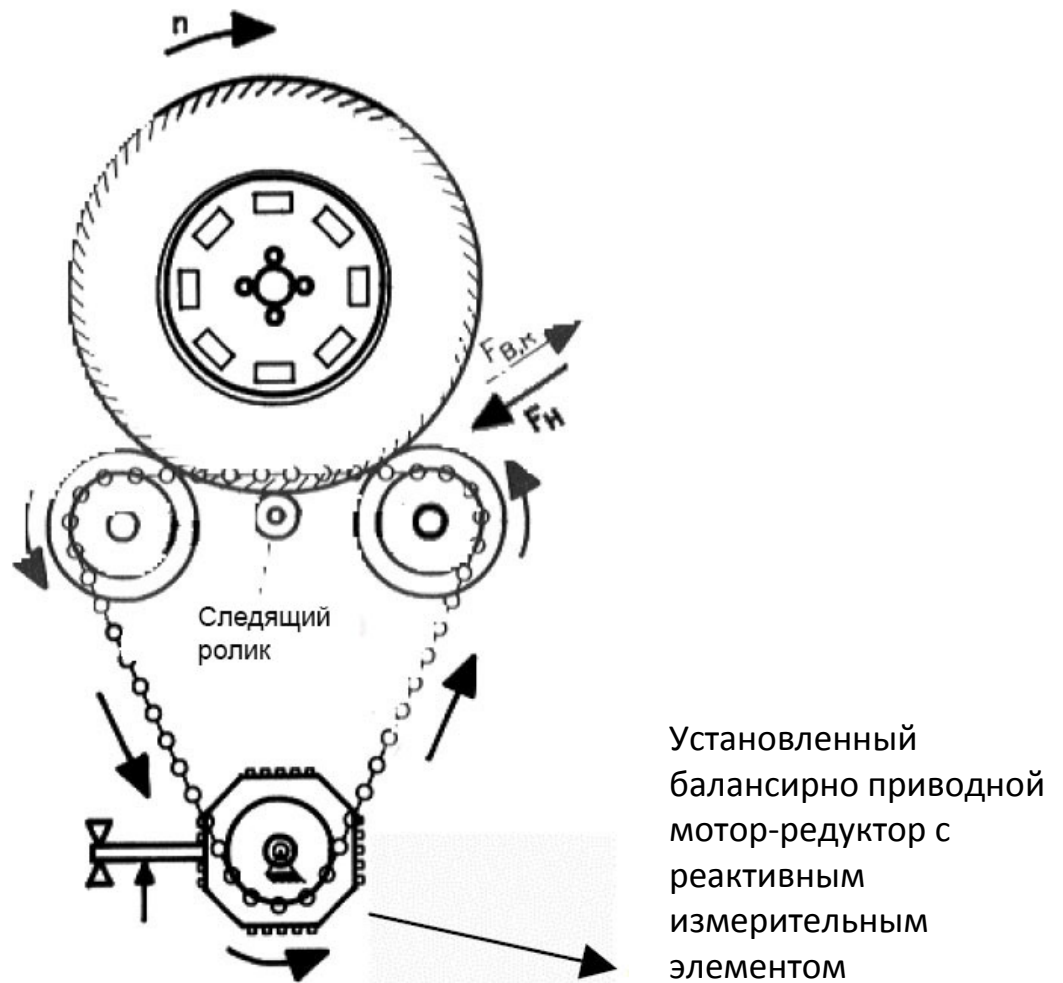
Для этого существуют динамический и статический методы измерения.

3.1 Статический метод



При статическом методе определяется та сила, которая необходима, чтобы повернуть стоящее на поверхности заторможенное колесо.

3.2 Динамический метод

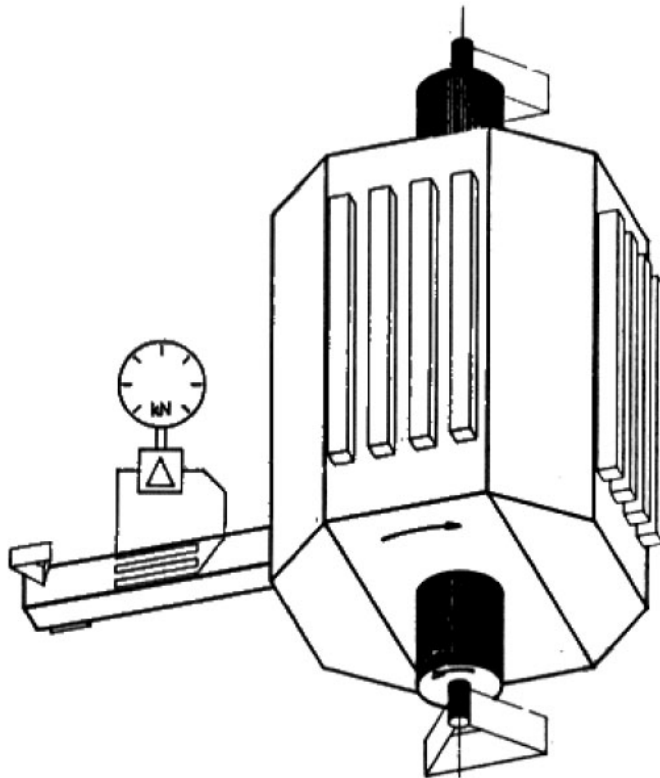


При динамическом методе - практичном и результативном - колесо приводится во вращение с заданной скоростью роликами стенда с электроприводом, затем колесо начинают тормозить.

Контактный следящий ролик измеряет количество оборотов колеса. Сравнением частот вращения роликов стенда и контактного ролика вычисляется величина проскальзывания.

При превышении показателем проскальзывания 30% дальнейшие измерения не имеют смысла. Кроме того при таких значениях слишком велик износ резины. Тормозное испытание прекращают.

3.3 Принцип измерения

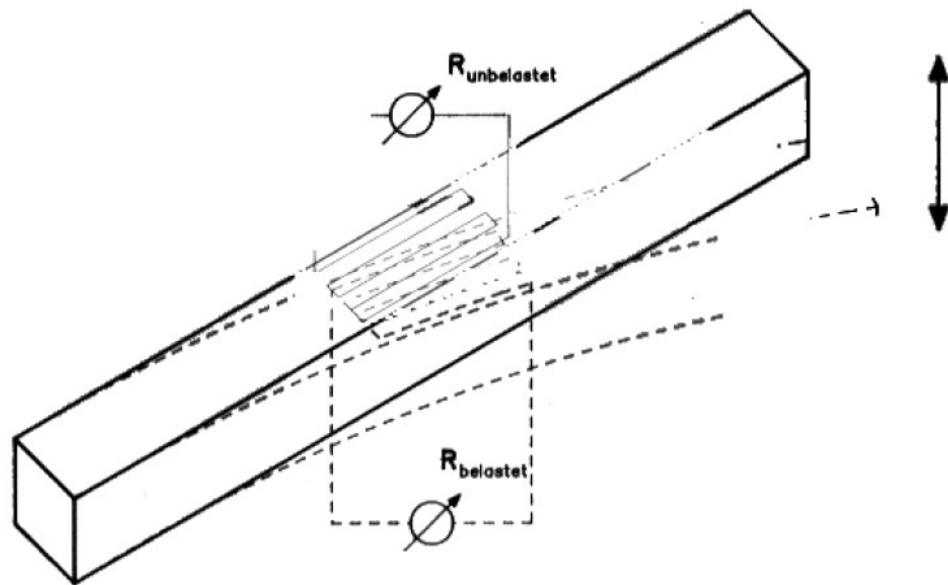


Принцип измерения одинаков для обоих методов измерения. Приводной электродвигатель установлен на подшипниках. Без дополнительного крепления корпуса двигателя под действием нагрузок ротор и корпус вращались бы в противоположных направлениях.

Дополнительной опорой является рычаг, который крепится к корпусу двигателя. Стальной рычаг изгибается в соответствии с крутящим моментом, развиваемым двигателем, вращению которого он должен сопротивляться.

Вращающий момент в начале проверки торможения при статическом методе равен нулю, а при динамическом методе он велик настолько, чтобы привести в движение ролики стенда и расположенное на них колесо при отпущенном тормозе.

3.4 Измерительный датчик



На рычаге (балке) наклеены фольговые тензодатчики, которые изменяют свое электрическое сопротивление при деформации (удлинении или сжатии).

Это очень точный метод для измерения деформации, и, благодаря этому методу, возможно измерение вращающего момента в каждом промежутке тормозных испытаний. В свою очередь вращающий момент легко преобразовать в тормозную силу, возникающую между колесом и поверхностью.

4 Результаты измерений и их интерпретация на тормозном стенде

4.1 Замедление в принципе

Замедление - это величина, показывающая, как быстро скорость автомобиля уменьшается или, иными словами, за какое время насколько снижается скорость. Если выразить это в виде формулы, то получится следующее:

$$\blacktriangleright a = v/t \text{ (м/с}^2\text{)}$$

где v – это изменение скорости, а t – это необходимое для изменения время

Например:

Автомобиль останавливается со скорости 20 м/с за 5 секунд. Соответственно показатель замедления равен 5 м/с².

4.2 Измерение замедления на тормозном стенде

Во многих странах определен минимальный показатель допустимого замедления для транспортных средств. Так как процесс измерения замедления в реальных дорожных условиях довольно трудоемок, для этого повсеместно используются тормозные стенды.

Если не достигнуто минимально необходимое значение замедления, то такое транспортное средство не допускается к эксплуатации.

На роликовом тормозном стенде возможно измерить не только тормозное усилие, но и (при наличии весов) колесную или осевую нагрузку.

Замедление также можно рассчитать при помощи максимальной достигнутой тормозной силы по отношению к весу. Формула тогда будет выглядеть следующим образом:

$$a = FB/G \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Пример:

Сумма тормозных сил всех 4 колес автомобиля при проверке на тормозном стенде составила 8000 Ньютонов, масса автомобиля составила 1600 кг. Тогда замедление равно 5 м/с².

Замедление часто отображают в процентах от ускорения свободного падения, равного 9,81 м/с². Для вышеприведенного примера замедление будет равняться 50,97 %.

4.3 Коэффициент сцепления с опорной поверхностью

Максимально достижимая тормозная сила напрямую зависит от коэффициента сцепления колеса с опорной поверхностью (μ) и от силы давления колеса на поверхность (нормальная сила). Применяют следующее выражение:

$$FB = \mu * FN$$

В обычных условиях применяют следующие коэффициенты сцепления колеса с опорной поверхностью для среднестатистических шин:

| | | |
|-----------------|-----------------------|------------|
| Сухой бетон | <i>приблизительно</i> | 0,7 |
| Сухой асфальт | <i>приблизительно</i> | 0,6 |
| Снег | <i>приблизительно</i> | 0,2 |
| Гололед с водой | <i>приблизительно</i> | 0,01 – 0,1 |

Роликовые тормозные стенды как правило имеют покрытие имитирующее бетон или асфальтовые условия, т.е. коэффициент сцепления составляет около 0,7.

4.4 Разность тормозных сил

В случае, если один из тормозов одной оси менее эффективен при торможении, возникает эффект одностороннего торможения, который называют разностью тормозных сил.

Если данная разность слишком высока, то ТС уходит в занос в сторону той стороны, где тормозное усилие сильнее. Такое транспортное средство небезопасно в эксплуатации с того момента, как будут превышены граничные значения.

Во многих странах данная разность обозначается как процентное значение измеренной разницы тормозных усилий по отношению к более высокому тормозному усилию. Формула тогда будет выглядеть следующим образом:

$$\text{Разность (\%)} = \frac{\text{FB (высокое)} - \text{FB(низкое)}}{\text{FB (высокое)}}$$

Пример:

Левое колесо имеет тормозную силу в 2 кН, на правом колесе в данный момент времени было измерено тормозное усилие в 3кН. Разница тогда составляет 33%.

Так как разница получается в результате актуальных измерений, возможны сильные колебания ее значений, например, если тормозные барабаны обладают большой овальностью.

Если, например, измеренное тормозное усилие одного колеса (при условии одинакового положения тормозной педали при измерении) колеблется из-за овальности между значениями в 2кН и 3кН, а второе колесо имеет постоянное тормозное усилие в 2 кН, тогда разница находится в диапазоне от 0% до 33 %.

И влияние данных измерений необходимо учитывать, так как данные значения будут приводить к разным результатам измерения.

4.5 Овальность

Как уже было описано в пункте 4.4, тормоза могут обладать такой характеристикой как овальность. Для измерения овальности педаль тормоза нажимают и удерживают в одном положении на определенном уровне. Тогда и значения тормозных сил на дисплее стенда должны оставаться постоянными. Однако тормоза с овальностью (барабанные тормоза) или с разной толщиной дисков (дисковые тормоза) показывают изменяющиеся тормозные усилия в этом случае.

Овальность оценивают исходя из разницы между самым большим и самым малым тормозным усилием за один оборот колеса.

Пример:

При измерении тормозного усилия колеса при постоянном положении педали значение колеблется между 1,9кН и 2,2 кН. Тогда овальность составляет 0,3кН.

Для получения процентного показателя овальности, она соотносится с максимальным тормозным значением.

Пример:

В вышеприведенном примере максимальное тормозное усилие равняется 3кН. Тогда процентное значение овальности составляет 10% для данного примера.

Согласно законодательствам разных стран, автотранспортные средства со значениями овальности, превышающими допустимые нормы, не допускаются к эксплуатации.