

УДК 21474

АНАЛИЗ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ С НЕРОВНОСТЯМИ ДОРОГИ В РЕЖИМЕ ЕГО ПОВОРОТА.

Балабин Игорь Венедиктович,

Balabin Igor Venediktovich,

Профессор, доктор технических наук

Professor, Doctor of Technical Sciences

МГТУ им. Н.Э.Баумана

MGTU im N.E. Baumana

Балабин Олег Игоревич

Balabin Oleg Igorievich

Доцент, кандидат технических наук

Associate Professor, Candidate of technical Sciences

Московское военное общевойсковое командное училище

Moscow Military Combined Arms Command School

ANALYSIS OF THE FORCE INTERACTION OF THE CAR WHEEL WITH THE IRREGULARITIES OF THE ROAD IN THE MODE OF ITS ROTATION.

Аннотация: Поворот автомобиля является одним из видов криволинейного движения материального тела, при котором возникает осевая сила, стремящаяся деформировать пневматическую шину, установленную на диске колеса, в направлении своего действия. В статье анализируется взаимодействие шины с неровностями дороги при движении автомобиля с различными скоростями.

Abstract: Turning a car is one of the types of curvilinear motion of a material body, in which an axial force arises that tends to deform a pneumatic tire mounted on a wheel disc in the direction of its action. The article analyzes the interaction of a tire with road irregularities when driving a car at different speeds.

Ключевые слова: колесо, пневматическая шина, криволинейное движение, поворот автомобиля, различное покрытие дорог, скорость движения автомобиля.

Key words: wheel, pneumatic tire, curvilinear motion, turning of the car, different road surface, the speed of the car.

Режим поворота автомобиля является видом криволинейного движения, если оно совершается при фиксированных значениях скорости и кривизны траектории, характерно постоянством величины перераспределения нагрузки между колесами, а также появлением на них осевой силы. При этом вектор центробежной силы при повороте автомобиля, осуществляющего криволинейное движение, приложенный к центру его массы, направлен, как видно на рис. 1, под некоторым отличным от прямого углом к его оси, в связи с чем при повороте автомобиля имеет место перераспределение нагрузки, как между колесами осей, так и между осями автомобиля [1, 2]. Последнее будет иметь место в тем большей степени, чем больше кривизна траектории движения автомобиля.

Составляющая F_{jx} вектора центробежной силы F_j , направленная вдоль оси, как правило, невелика и зависит от отношения расстояния центра массы автомобиля до задней оси к радиусу поворота. Составляющая же F_{jy} , действующая перпендикулярно продольной оси автомобиля, напротив, может принимать сколь угодно большое значение вплоть до того, которое вызывает отрыв внутренних по отношению к центру поворота колес и сосредоточение всей нагрузки автомобиля на внешних его колесах

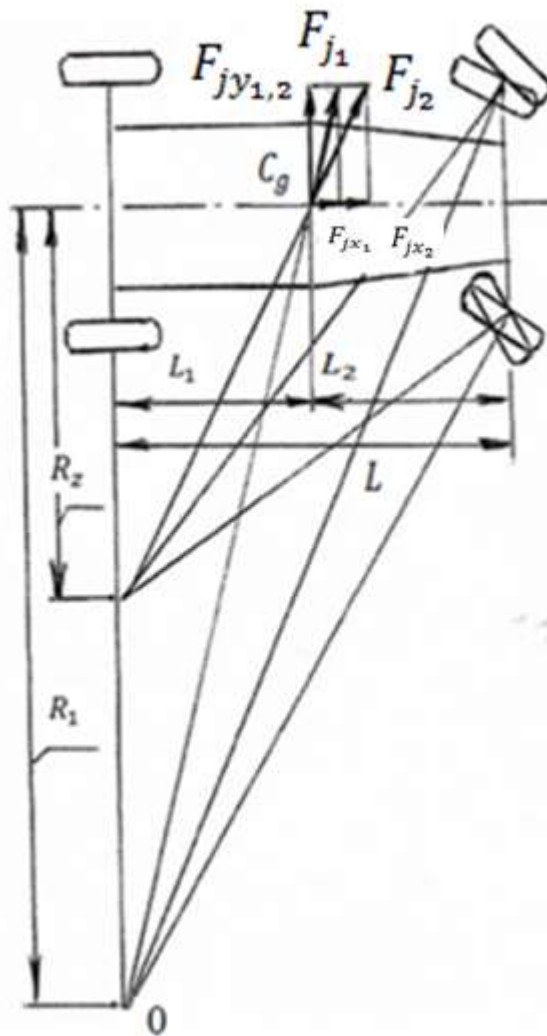


Рис. 1. Изменение продольной и поперечной составляющих вектора центробежной силы при криволинейном движении автомобиля.

Такая ситуация тем более вероятна, чем больше отношение высоты центра массы h_g автомобиля к ширине его колеи B , с одной стороны, и чем выше коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении φ_n , с другой, что очевидно из схемы действующих при повороте автомобиля сил, представленных на рис. 2, и их аналитической зависимости (1) для случая установившегося движения:

$$F_{z_{\text{л}}} \cdot B - F_j \cdot h_g - G_a \cdot \frac{B}{2} = 0 \quad (1)$$

При $F_{j_{\text{max}}} = G_a \cdot \varphi_n$.

$$F_{z_{\text{л}}} = G_a \left(\frac{1}{2} + \frac{h_g}{B} \cdot \varphi_n \right) \quad (2)$$

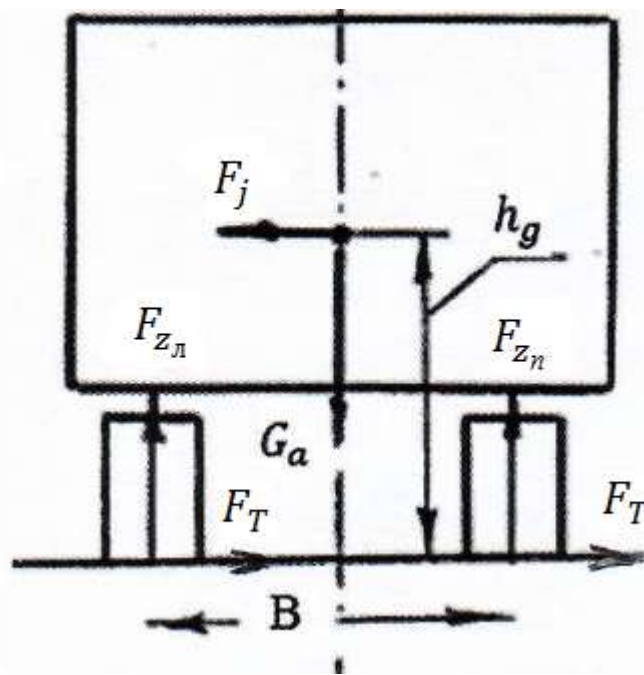


Рис. 2. Схема сил, действующих на автомобиль при повороте.

Разумеется, зависимость (2) носит приближенный характер, поскольку не учитывает особенности реальной конструкции автомобиля, в том числе характеристики жесткости несущей его системы, подвески и шин. Каждый из указанных компонентов вносит определённый корректив в указанное соотношение. Распределение осевых сил между колесами левой и правой сторон автомобиля не поддается строгому аналитическому расчету. Принято считать, что при небольшом различии нагрузки на левых и правых колесах осевые силы на них одинаковы. По мере возрастающего перераспределения нагрузки между наружными и внутренними колесами автомобиля изменяется соотношение и между их осевыми силами, однако по поводу степени этого изменения, равно как и момента, с которого оно начинается, в литературе сведений не содержится.

Представление о распределении радиальных и осевых сил между колесами оси автомобиля с учетом влияния жесткости шин и связанного с этим наклона плоскостей их вращения дают материалы, полученные при изучении вопроса повышенного износа шин передних колес автомобиля. Ниже приводятся результаты исследований радиальных и осевых сил, действующих на передние колеса грузового автомобиля со среднестатистической нагрузкой 7,0 тонн, имеющего повышенную нагрузку на передних колесах, которые были оборудованы шинам радиальной конструкции.

Исследования проводились на горизонтальной площадке, имеющей ровную поверхность с асфальтобетонным покрытием.

Методикой исследования предусматривалось серия заездов с различной установившейся скоростью по круговым траекториям разного радиуса от 20 до 50 м, которые в целях повышения точности эксперимента заранее наносились на поверхности площадки.

Варьирование жесткости шин в процессе проведения данного эксперимента осуществлялось путем изменения их внутреннего давления в пределах от 0,56 до 0,90 мПа.

Измерение сил производилось при полной нагрузке автомобиля с распределением массы по осям в соответствии с его технической характеристикой. При этом статическая нагрузка на переднюю ось составляла 45 кН.

Параллельно с измерением сил определялся расход топлива автомобилем, который использовался как дополнительный показатель интенсивности действующих силовых факторов в контакте колеса с дорогой.

На рис. 3 приведены графики изменения осевых сил на наружном и внутреннем по отношению к центру поворота колесах с давлением воздуха в шинах 0,56 и 0,90 мПа при боковом возмущении, характеризуемом различной величиной отношения поперечного ускорения j_n к ускорению силы тяжести g . Как видно из представленных кривых, наружное колесо несет большую осевую силу по сравнению с внутренним во всем диапазоне бокового возмущения, начиная с минимальных его значений. Эта разница становится тем большей, чем больше давление воздуха в шинах и чем, следовательно, больше их жесткость. Так, при боковом возмущении, характеризуемом отношением $\frac{j_n}{g} = 0,2$ и давлением воздуха в шинах 0,56 мПа, разница в осевых силах на наружно и внутреннем колесах равна около 10%, при давлении же 0,90 мПа – порядка 40%.

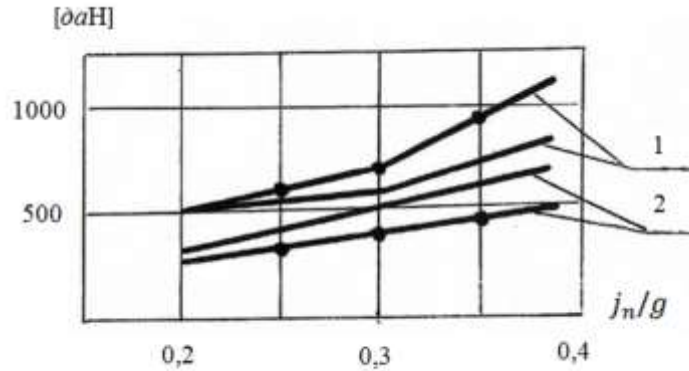


Рис. 3. Графики изменения осевых сил на колесах при повороте автомобиля (1 – наружное колесо; 2 – внутреннее колесо).

На рис. 4 приведена диаграмма распределения радиальных сил между передним наружным и внутренним колесами автомобиля при движении по круговой траектории радиуса 50м. Значения сил даны в процентном отношении к статической нагрузке на колесо в зависимости от отношения $\frac{j_n}{g}$. Как видно из рис. 4, представленные здесь зависимости имеют линейный характер, устанавливая соотношение между загрузкой наружного и разгрузкой внутреннего передних колес при движении автомобиля с различным отношением поперечного ускорения к ускорению силы тяжести, начиная от нуля и кончая $\frac{j_n}{g} = 0,8$.

На рис. 5 помещена аналогичная диаграмма распределения между колесами осевых сил, значения которых, а также суммарной осевой силы, воспринимаемой передними колёсами, даны также в процентном отношении к статической нагрузке.

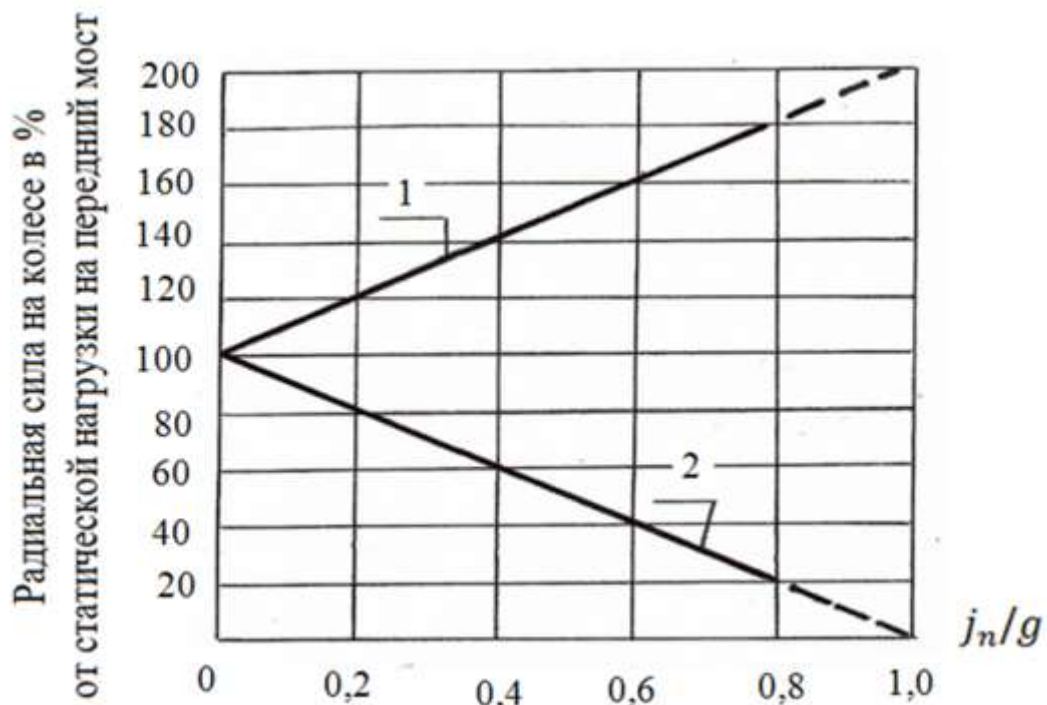


Рис. 4. Диаграмма распределения радиальной силы на колесах при криволинейном движении автомобиля (1 – наружное колесо; 2 – внутреннее колесо).

Анализируя эту диаграмму, можно отметить, что до некоторого значения $\frac{j_n}{g}$, равного 0,6, имеет место рост осевых сил на обоих колесах, хотя на наружном колесе этот процесс происходит интенсивнее, образуя разницу, при которой осевая сила на наружном колесе превышает осевую силу на внутреннем на 22% при $\frac{j_n}{g} = 0,2$ и на 35% при $\frac{j_n}{g} = 0,4$. В дальнейшем абсолютная разница в осевых силах возрастает, однако в силу роста самих сил процентное различие их даже снижается.

При суммарном значении осевой силы, составляющей 60% от статической радиальной нагрузки на передние колеса, рост ее значения на внутреннем колесе заметно уменьшился и, достигнув максимума, составляющего примерно 25-28% от его статической нагрузки, начинает быстро падать, в то время как на наружном колесе осевая сила начинает столь же быстро нарастать вплоть до того значения, которое может быть реализовано по условиям сцепления шины с дорогой.

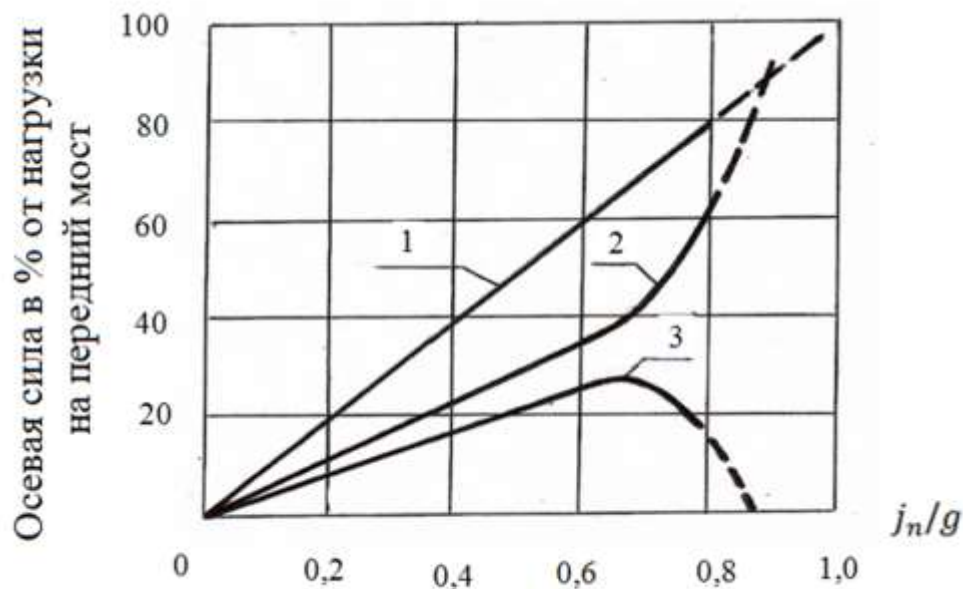


Рис. 5 Диаграмма распределения осевой силы на колесах при криволинейном движении автомобиля (1 – суммарная осевая сила; 2 – наружное колесо; 3 – внутреннее колесо).

Устойчивые максимальные значения осевой силы на наружном переднем колесе грузового автомобиля, полученные в ходе проведенного исследования, оказались равными порядка 60-62% статической нагрузки на ось. При этом максимальное значение радиальной силы на наружном переднем колесе составляло 180% от его статической нагрузки. Продолжая кривые зависимостей осевых сил на наружном и внутреннем колесах до пересечения с линией зависимости суммарного значения осевой силы и осью абсцисс, можно получить точки теоретически возможного максимального значения осевой силы на наружном колесе, составляющего в соответствии с приведенной диаграммой примерно 83% от суммарной осевой силы, реализуемой передними колесами при нулевом значении осевой силы на внутреннем колесе. Однако эта область представляет собой условно достижимую зону по сцепным возможностям колеса с дорогой.

Таким образом, результаты проведенного экспериментального исследования подтверждают факт экстремальной нагруженности колеса в условиях движения автомобиля по криволинейной траектории, которое в пределе обуславливает наличие на колесе радиальной силы, равной удвоенному значению статической нагрузки, а также осевой силы, способной достигнуть уровня, составляющего 80 – 85% от действующей на колесо максимальной радиальной силы (удвоенной статической нагрузки).

Касаясь вскрытого факта неравного распределения осевых сил между наружным и внутренним колесами в зоне малых поперечных ускорений, который противоречит общепринятым представлениям, можно объяснить это явление тем обстоятельством, что осевая жесткость шины наружного колеса, воспринимающей большую радиальную силу, оказывается несколько выше осевой жесткости шины внутреннего колеса, несущего меньшую нагрузку.

Заключая данный анализ, следует отметить, что из всех видов движения автомобиля по гладкой дороге наиболее нагруженным режимом работы колеса следует считать поворот автомобиля, наименее – прямолинейное движение без торможения со средними эксплуатационными скоростями.

Проведенное исследование радиальной и осевой сил на колесах автомобиля при движении по криволинейной траектории позволило установить, что при определенных значениях бокового возмущения автомобиля радиальная сила на наружном по отношению к центру поворота колеса способна возрасти вдвое, а осевая достигать 80 – 85% ее максимального значения.

В отличие от общепринятых представлений осевая сила на наружном колесе всегда больше, чем на внутреннем во всем диапазоне бокового ускорения, включая и малые его значения.

Список литературы

1. Балабин И.В., Чабунин И.С. Автомобильные и тракторные колеса и шины: Учебное пособие. – МГТУ «МАМИ», 2010. – 444 с.
2. Балабин И.В., Чабунин И.С. Колеса и шины для мобильных машин: Монография. – М.: Издательство «Спутник +», 2019. – 948 с.