

УДК 626.3.015

ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ НА РАДИУСЫ КОЛЕС

Н.Н. Потапов, ассист.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Розглянуто характер зміни навантаження на осі автомобіля при зміщенні його центра тяжіння. Обґрунтовано можливість збільшення радіусів кочення коліс при збільшенні вертикального навантаження на автомобіль. Отримані експериментальні залежності значень радіусів коліс осей автомобіля, що мають точку перегину.

Ключові слова: *автомобіль, центр тяжіння, навантаження, радіус колеса, характеристика шини.*

Проблема. Изменение радиуса качения колеса существенно влияет на эксплуатационные качества автомобиля [1,2]. Уменьшение радиуса колес приводит к повышенному смятию его покрышки, что влечет за собой дополнительные гистерезисные потери при движении автомобиля.

У грузовых автомобилях наблюдается перераспределение нагрузки по его осям, т.к. масса перевозимого груза может значительно превышать его собственную массу. Разное изменение нагрузки на оси будет приводить к разному уменьшению радиусов его колес. При эксплуатации автомобиля в полноприводном режиме необходимо учитывать возникающую вследствие этого кинематическую рассогласованность. Изменяя давление воздуха в шинах, можно изменять их радиусы и тем самым минимизировать кинематическую рассогласованность.

Чтобы сделать радиусы колес одинаковыми необходимо знать зависимости их изменения от нагрузки и давления воздуха.

Анализ последних исследований и публикаций. Результаты исследований, проведенные рядом авторов [1, 2, 3], показали, что радиус качения колеса

для каждого типа шины $T_{ш}$ зависит от давления в ней $P_{г}$ и действующей на нее вертикальной нагрузки $F_{в}$.

$$r_{к} = f(F_{в}, P_{г}, T_{ш}). \quad (1)$$

В зависимости от этих параметров радиус колеса меняется в широком диапазоне, с общей тенденцией его уменьшения при уменьшении давления и увеличении нагрузки.

Стендовые испытания определения влияния этих параметров на радиус колес не отображают фактическую картину их изменения при движении автомобиля для каждого из колес в отдельности, т.к. перераспределяется нагрузка на колеса, меняется ее температура и меняется жесткость покрышки [1, 2, 3].

Сложность одновременного учета многих факторов и их взаимного влияния требуют детального экспериментального исследования фактического изменения радиусов всех колес автомобиля при его эксплуатации.

Цель и задачи исследования. Цель — установить влияние смещения центра тяжести автомобиля, при изменении массы перевозимого груза, на радиусы качения колес задней и передней оси.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить экспериментально характер изменения радиуса колеса при смещении центра тяжести и по полученным данным получить аналитические выражения зависимостей $r_{к} = f(F_{в}, P_{г})$;
- проанализировать результаты эксперимента изменения радиуса колеса при изменении нагрузки с учетом смещения центра тяжести.

Влияние смещения центра тяжести автомобиля на величину кинематического радиуса колеса. Задачу рассмотрим в двухкоординатной плоскости.

Считаем, что известны координаты центра тяжести ненагруженного автомобиля, вес и положение центра тяжести груза. Используя метод группировки, новые координаты центра тяжести груз-автомобиль определим из выражений:

$$x_{с.а.} = \frac{\sum x_i G_i}{G}; \quad (2)$$

$$y_{с.а.} = \frac{\sum y_i G_i}{G}, \quad (3)$$

где $G = \sum_1^2 G_i$, G_i — вес частей автомобиля и груза.

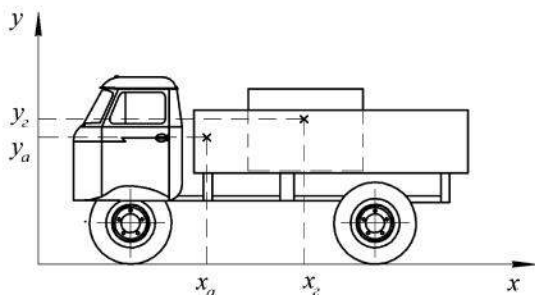


Рис. 1. Координаты центров масс автомобиля и груза в двухкардинатной плоскости:

x_a, y_a — координаты центра тяжести автомобиля, x_z, y_z — координаты центра тяжести груза

В нашем случае уравнение (2) и (3) будут состоять из двух слагаемых и новые координаты центра тяжести будут:

$$x_{ц.м.} = \frac{x_a G_a + x_z G_z}{G_a + G_z}; \quad (3)$$

$$y_{ц.м.} = \frac{y_a G_a + y_z G_z}{G_a + G_z}. \quad (4)$$

Решая поставленную задачу по определению центра тяжести столько раз, сколько раз увеличивали груз, получим траекторию смещения центра тяжести

$$x_{ц.м.} = f(G), \quad (6)$$

которую с высокой степенью достоверности можно представить в виде

$$\Delta l = k \cdot \Delta G, \quad (7)$$

где ΔG — величина увеличения массы груза.

При решении задачи будем рассматривать автомобиль как систему упруго связанных жестких тел. Массы всех элементов автомобиля примем сосредоточенными. Будем считать, что распределение масс автомобиля почти симметрично относительно средней продольной плоскости. Жесткости упругих элементов считаем переменными. При принятых условиях автомобиль можно представить следующей расчетной схемой, заменив схему с распределенными параметрами схемой с сосредоточенными параметрами.

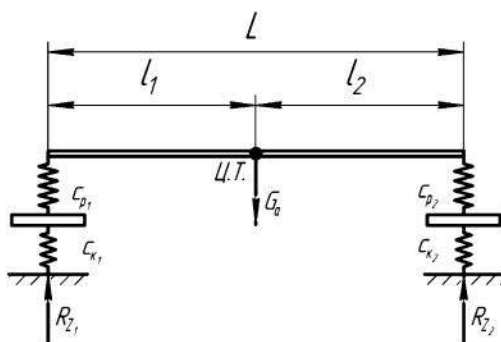


Рис. 2. Схема балансу сил действующих на подвеску автомобиля в покое:

Ц.Т. — центр тяжести автомобиля; L — база автомобиля; c_{p1} и c_{p2} — жесткость передних и задних упругих элементов подвески соответственно; c_{k1} и c_{k2} — жесткость передних и задних колес; R_{z1} и R_{z2} — реакции на передних и задних колесах; l_1 и l_2 — расстояние от осей до центра тяжести автомобиля, G_a — масса автомобиля

Согласно условию равновесия рычага усилия на опорах запишем в виде:

$$G_1 = \frac{G_a \cdot l_2}{L}; \quad (8)$$

$$G_2 = \frac{G_a \cdot l_1}{L}. \quad (9)$$

При увеличении веса автомобиля на величину ΔG его центр тяжести сместится на величину Δl . Тогда расчетная схема автомобиля примет вид (рис. 3)

Запишем уравнение (8) и (9) с учетом изменения массы автомобиля и смещения центра масс:

$$G_1 = \frac{(G_a + \Delta G) \cdot (l_2 + \Delta l)}{L}; \quad (10)$$

$$G_2 = \frac{(G_a + \Delta G) \cdot (l_1 - \Delta l)}{L}. \quad (11)$$

Подставив (7) в уравнение (11) получим

$$G_2 = \frac{G_a \cdot l_1}{L} + \frac{l_1 - k \cdot G_a}{L} \cdot \Delta G - \frac{k}{L} \cdot \Delta G^2. \quad (12)$$

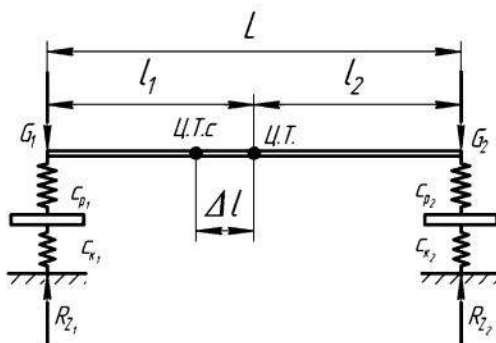


Рис. 3. Схема баланса сил действующих на подвеску автомобиля в покое при увеличении нагрузки: Ц.Т.с — смещенный центр тяжести автомобиля, Δl — расстояние от старого до нового центра тяжести автомобиля

Обозначим $\frac{G_a \cdot l_1}{L} = c$; $\frac{l_1 - k \cdot G_a}{L} = b$; $\frac{k}{L} = a$, и тогда выражение (12) примет вид квадратного трехчлена, более удобного для анализа:

$$-a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0.$$

Анализ его показывает:

- если $b \cdot x > a \cdot x^2$ G_2 — растет,
- если $b \cdot x < a \cdot x^2$ G_2 — убывает.

Суммарная жесткость подвески определяется жесткостью всех ее элементов. При моделировании будем учитывать суммарную жесткость упругого элемента и шины, соединенных последовательно [4,5].

Тогда:

$$c_c = \frac{c_y \cdot c_{ш}}{c_y + c_{ш}}, \quad (13)$$

где c_y — жесткость упругого элемента, $c_{ш}$ — жесткость шины.

Автомобильная шина обладает упругостью в радиальном, боковом и тангенциальном направлениях, которая зависит от ее технологии выполнения, статической нагрузки и давления воздуха в ней [1, 2, 3].

Во время эксплуатации автомобиля его шина подвергается различным нагрузкам, что может существенно изменять ее первоначальные параметры (давление воздуха в шине, температура, вертикальная нагрузка и т.д.). Многими авторами доказано, что жесткость шины меняется при изменении нагрузки и давления в ней, причем характер этих зависимостей носит нелинейный характер [1, 2, 3].

Жесткость автомобильной рессоры, как упругого элемента, тоже нелинейная [3, 4, 5] и она увеличивается с увеличением нагрузки.

Следовательно, жесткость всей опоры также будет носить нелинейный характер.

Величину деформации опоры можно определить из уравнения:

$$\delta = \frac{F_{нагр}}{c_0}, \quad (14)$$

где $F_{нагр}$ — нагрузка на опору.

Величина деформации опоры зависит от жесткости системы, а т.к. она носит нелинейный характер, то и величина деформации опоры будет также нелинейная. Учитывая анализ уравнения (12), можно утверждать, что при смещении центра тяжести могут возникнуть условия, при которых изменение радиуса колеса может проходить через точку экстремума.

Для реального определения изменения величины радиусов колес при разной нагрузке и давлении в шинах следует провести экспериментальное исследование на автомобиле для всех колес в отдельности.

С этой целью проведен эксперимент на полноприводном автомобиле УАЗ 3303. В процессе эксперимента замерялись пути, пройденные каждым колесом в отдельности за 10 оборотов. Замеры проводились на прямолинейном участке дороги без продольного и поперечного уклонов. Массу груза в кузове автомобиля увеличивали от 0 до 900 кг через каждые 300 кг. Его размещали таким образом, чтобы не возникало опрокидывающего момента относительно задней оси. Давление в шинах изменялось от $0,7 \cdot 10^5$ Па до $2,7 \cdot 10^5$ Па через $0,5 \cdot 10^5$ Па.

Полученные экспериментальные зависимости аппроксимировались полиномом вида:

$$r_k = a_0 + a_1 \cdot G + a_2 \cdot G^2 + \dots + a_k \cdot G^n, \quad (k < n). \quad (15)$$

Аппроксимацию проводили в программном пакете Microsoft Excel.

Результаты экспериментальных данных приведены на рис. 4–8.

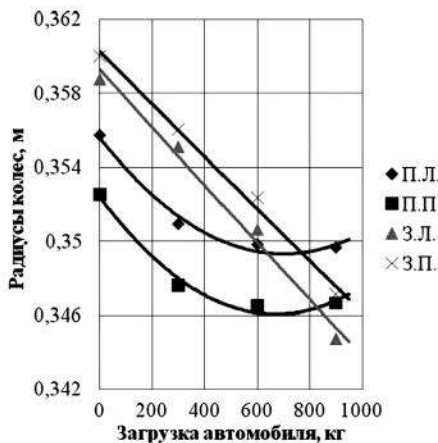


Рис. 4. Изменение радиусов колес автомобиля УАЗ 3303, при фиксированном давлении во всех шинах ($0,7 \cdot 10^5$ Па), от загрузки автомобиля: П.Л. — переднее левое колесо, П.П. — переднее правое колесо, З.Л. — заднее левое колесо, З.П. — заднее правое колесо

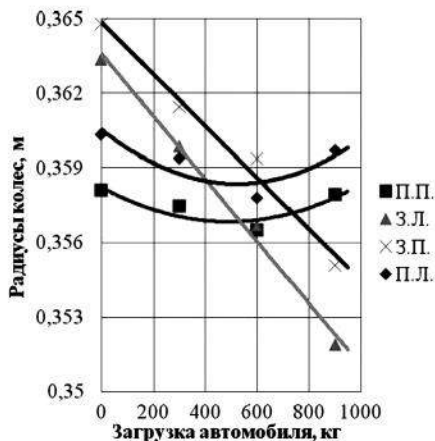


Рис. 5. Изменение радиусов колес автомобиля УАЗ 3303, при фиксированном давлении во всех шинах ($1,2 \cdot 10^5$ Па), от загрузки автомобиля: П.Л. — переднее левое колесо, П.П. — переднее правое колесо, З.Л. — заднее левое колесо, З.П. — заднее правое колесо

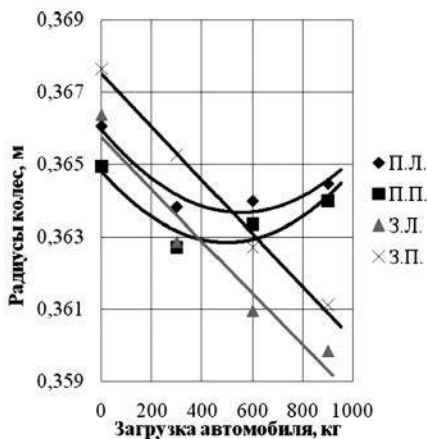


Рис. 6. Изменение радиусов колес автомобиля УАЗ 3303, при фиксированном давлении во всех шинах ($1,7 \cdot 10^5$ Па), от загрузки автомобиля: П.Л. — переднее левое колесо, П.П. — переднее правое колесо, З.Л. — заднее левое колесо, З.П. — заднее правое колесо

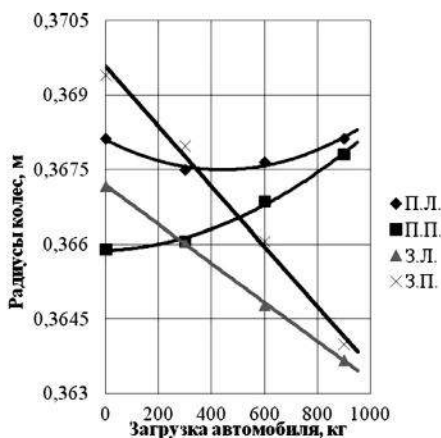


Рис. 7. *Изменение радиусов колес автомобиля УАЗ 3303, при фиксированном давлении во всех шинах ($2,2 \cdot 10^5$ Па), от загрузки автомобиля: П.Л. — переднее левое колесо, П.П. — переднее правое колесо, З.Л. — заднее левое колесо, З.П. — заднее правое колесо*

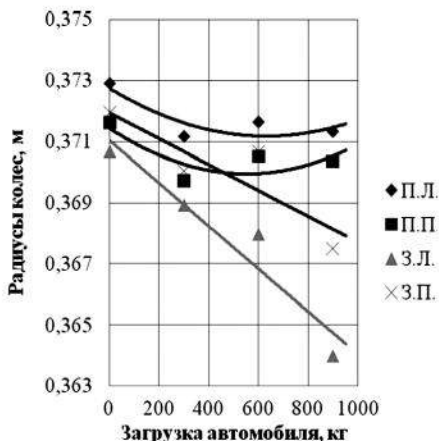


Рис. 8. *Изменение радиусов колес автомобиля УАЗ 3303, при фиксированном давлении во всех шинах ($2,7 \cdot 10^5$ Па), от загрузки автомобиля: П.Л. — переднее левое колесо, П.П. — переднее правое колесо, З.Л. — заднее левое колесо, З.П. — заднее правое колесо*

Таким образом, установлено, что при изменении нагрузки на автомобиль зависимость $r_k = f(G)$ можно представить в виде:

$$r_k = a \cdot G^2 + b \cdot G + c, \quad (16)$$

где коэффициенты a , b , c определяются в результате эксперимента.

При $a > 0$ и $b^2 - 4ac > 0$ Δl будет > 0 , и функция имеет экстремум в точке

$$G = -\frac{b}{2 \cdot a}. \quad (17)$$

Отсюда следует, что при подходе к точке экстремума слева, величина радиуса будет уменьшаться, а затем увеличиваться справа от точки экстремума.

Таким образом, изменение радиуса колеса автомобиля зависит как от величины груза перевозимого автомобилем, так и от смещения центра тяжести, что подтверждено экспериментально.

Выводы.

1. В результате проведенного исследования определены условия, при которых увеличение вертикальной нагрузки на автомобиль может приводить к увеличению радиуса качения колес.
2. Получены экспериментальные зависимости изменения радиуса каждого из колес автомобиля при разных давлениях и нагрузках с учетом смещения его центра тяжести, при этом обнаружено, что у передних колес зависимость $r_k = f(G)$ имеет точку перегиба, координаты которой определяются экспериментально.

Бібліографія

1. *Петрушов В.А.* Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. / В.А. Петрушов, С.А. Шуклин, В.В. Московкин. — М: Машиностроение, 1975. — 225 с.
2. *Кнороз В.И.* Работа автомобильной шины. / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров, А.С. Шелухин, Ю.М. Юрьев / Под ред. В.И. Кнороза. — М: Транспорт, 1976. — 238 с.
3. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля / Р.В.Ротенберг — М.: Машиностроение, 1972. — 392с.
4. *Чудаков Е.А.* Теория автомобиля / Е.А. Чудаков — М.: Машгиз, 1950. — 343 с.
5. *Фалькевич Б.С.* Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич. — М.: Машгиз, 1963. — 239 с.

ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ НА РАДИУСЫ КОЛЕС

Рассмотрен характер изменения нагрузки на оси при из-нии его центра тяжести. Обоснована возможность увеличения радиусов качения колес при увеличении вертикальной нагрузки на автомобиль. Полученные экспериментальные зависимости значений радиусов колес осей авто-мобиля, имеющих точку перегиба.

Ключевые слова: автомобиль, центр тяжести, нагрузка, радиус колеса, характеристика шины.

INFLUENCE OF THE SHIFT THE CENTER OF GRAVITY WHEN THE LOAD ON WHEEL RADIUS

The nature of the axle load change, when its gravity centre is shifted, is considered. The possibility to increase the wheel radii when the vertical load on the vehicle is raised, is grounded. Experimental dependence of the values of the vehicle wheel axle radii confirming this fact, are obtained.

Key words: *car, center of gravity, load, wheel radius, the characteristics of the tire.*