

УДК 629.3.076

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПО ВЫБОРУ УГЛОВ УСТАНОВКИ ОСЕЙ ПОВОРОТА УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ЭТИХ ПАРАМЕТРОВ

И.В. Балабин, д.т.н., проф. / И.С. Чабунин, к.т.н., доцент / С.А. Морозов, к.т.н. / В.С. Надеждин, инж.
Университет машиностроения МГМУ «МАМИ»

Криволинейное движение — наиболее опасный режим эксплуатации автомобиля с точки зрения нагруженности передней оси и всех устанавливаемых на ней агрегатов и деталей. Исследования, проведенные в МГМУ «МАМИ», доказали возможность снижения нагруженности основных элементов передней оси грузового автомобиля путем изменения параметров угловой ориентации управляемых колес, повышая тем целый ряд эксплуатационных характеристик. Изменение нагруженности происходит путем изменения плеч для сил, действующих в пятне контакта шины с дорогой (рис. 1).

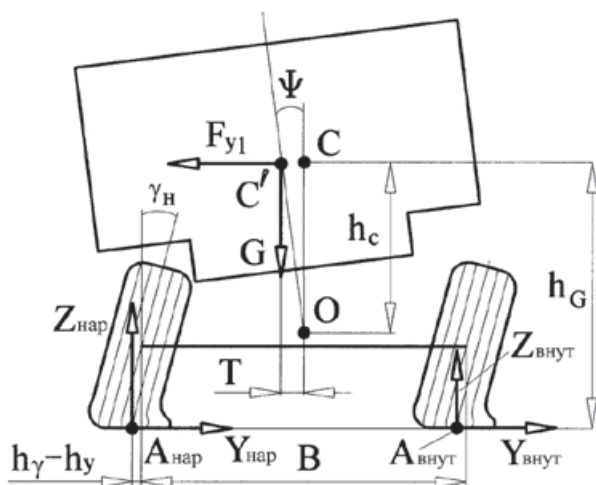


Рисунок 1. Схема автомобиля с наклоном плоскостей колес

Изменение параметров угловой ориентации управляемых колес непосредственно связано с углами установки осей поворота. Рациональный выбор этих параметров является интересной и важной с практической точки зрения задачей. Выбор рациональных значений продольных и поперечных углов наклона осей поворота будем производить по заданному оптимальному закону параметров угловой ориентации плоскостей качения управляемых колес грузового автомобиля.

Следует особенно отметить, что в настоящее время выбор углов установки управляемых колес связан, в основном, с обеспечением конструктивных требований и их регулировка в процессе эксплуатации не производится.

Рассмотрим процесс выбора поперечного угла наклона плоскости качения наружного управляемого колеса на базе решения оптимизационной задачи.

Пусть, исходя из конструктивных параметров грузового автомобиля, определены следующие параметры: полная масса автомобиля, база и колея, координаты центра масс, жесткость подвески, боковая жесткость шин, динамический радиус колеса, положение центра крена, площадь лобового сопротивления автомобиля.

Изгибающий момент в вертикальной плоскости определяется разностью моментов от двух силовых факторов, возникающих в пятне контакта при криволинейном движении: от вертикальной и осевой сил. При прямолинейном равномерном движении, как при наиболее частом случае движения, изгибающий момент в том же сечении будет определяться только лишь моментом от вертикальной силы. Идеальным можно считать случай нагружения элемента постоянным силовым фактором, который с течением времени не претерпевает значительных изменений независимо от случая движения, что можно реализовать в модели, при которой изгибающий момент в опасном сечении при экстремальном случае движения будет равен изгибающему моменту при равномерном прямолинейном движении, то есть

$$M_{\text{экстремальное}} = M_{\text{прямолинейное}}$$

Принятые положения позволяют сформулировать оптимизационную задачу.

В качестве целевой функции принимаем разность изгибающих моментов в опасном сечении при экстремальном и прямолинейном равномерном случаях движения. При достижении целевой функцией минимального значения напряженное состояние будем считать идеальным.

$$F(\gamma H, R, V) = \min(M_{sk-kriv} - M_{sh-pr}),$$

где V — скорость движения автомобиля; R — радиус поворота; γH — угол наклона плоскости качения наружного, по отношению к центру поворота, колеса; $M_{sk-kriv}$ — изгибающий момент в опасном сечении (шкворень) при экстремальном (криволинейном) случае движения; M_{sh-pr} — изгибающий момент в опасном сечении (шкворень) при прямолинейном равномерном движении автомобиля.

Для проведения оптимизации необходимо ввести ограничения на независимые параметры.

$V_{min} \leq V \leq V_{max}$ — скорость движения автомобиля на повороте ограничена минимальным и максимальным значениями;

$R_{min} \leq R \leq R_{max}$ — радиус поворота ограничен минимальным и максимальным значениями;

$\gamma H_{min} \leq \gamma H \leq \gamma H_{max}$ — угол наклона плоскости качения наружного управляемого колеса ограничен минимальным и максимальным значениями.

Принимаем следующие ограничения для параметров оптимизации: $V = 9...36$ [м/с]; $R = 17...143$ [м], $\gamma H \in [-5^\circ, 30^\circ]$ или если в радианах, то $\gamma H \in [-\pi/36, \pi/6]$.

Для снижения трудоемкости вычислений и уменьшения итераций, решение оптимизационной задачи разобьем на два этапа.

В первом приближении на плоскости определения, ограниченной значениями скорости и радиуса поворота автомобиля выберем массив множества значений угла наклона, например, в количестве сто равноудаленных точек, что можно считать вполне достаточным с точки зрения полноты описания исследуемой проблемы. После этого, для каждой точки решим дискретную задачу оптимизации функции одной переменной

$$F(\gamma) = \min(M_{sk-kriv} - M_{sh-pr}).$$

Для поиска локальных минимумов на области определения значений углов наклона $\gamma H_{min} \leq \gamma H \leq \gamma H_{max}$ будем использовать градиентный метод первого порядка.

При этом должны соблюдаться условия существования локального минимума, определяемые значениями первой и второй производных целевой функции. Визуализация первого этапа показана на рис. 2, а.

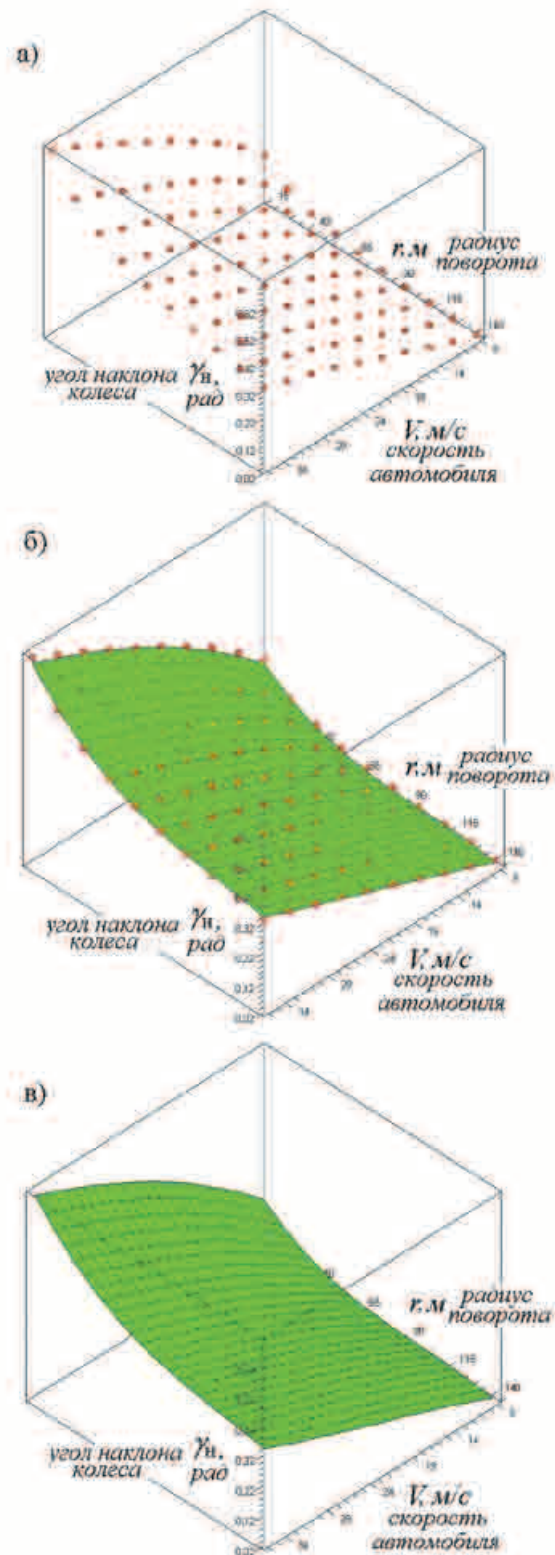


Рисунок 2. Аппроксимация дискретной зависимости угла наклона плоскости качения наружного управляемого колеса от скорости движения и радиуса поворота автомобиля:
а) дискретные значения угла наклона;
б) и в) аппроксимационная поверхность

На втором этапе производилась аппроксимация дискретных значений углов наклона плоскости качения наружного управляемого колеса, с целью получения непрерывной зависимости угла наклона плоскости качения наружного колеса от скорости движения и радиуса поворота автомобиля.

Решение представлялось в виде полинома третьей степени

$$yH(R, V) = a_0 + a_1V + a_2r + a_3V^2 + a_4Vr + a_5r^2 + a_6V^3 + a_7V^2r + a_8Vr^2 + a_9r^3.$$

Графическое отображение проведения аппроксимации показано на рис. 2, б и в.

Зная закон изменения параметров угловой ориентации управляемых колес в процессе движения по криволинейной траектории можно переходить к задаче выбора рациональных значений углов установки осей поворота. В идеале эти значения также должны быть переменными при движении по криволинейной траектории в зависимости от скорости движения и радиуса поворота грузового автомобиля. Это потребует пересмотра конструкции шкворневого узла и создание новых перспективных конструктивных решений. Однако замена существующего автопарка не может быть произведена мгновенно, и, следовательно, необходима разработка мероприятий по усовершенствованию уже существующих конструкций. Изменение угла наклона плоскости качения управляемого колеса может быть осуществлено за счет изменения продольного угла наклона оси поворота, что вполне реализуемо для грузовых автомобилей с зависимой подвеской путем установки вкладышей между балкой моста и рессорой. Из вышесказанного следует, что необходимо разработать рекомендации по выбору рационального значения именно продольного угла наклона.

Алгоритм для инженера может выглядеть в следующем виде:

1. Уточняются конструктивные параметры грузового автомобиля.

2. Создается целевая функция, учитывающая нагруженность основных несущих элементов передней оси при криволинейном движении.

3. Вычисляется зависимость оптимальных значений углов наклона плоскостей качения управляемых колес от скорости движения и радиуса поворота грузового автомобиля.

4. Для конкретной модели грузового автомобиля выбираются предполагаемые условия эксплуатации.

5. Исходя из конструкции передней подвески, выбираются рациональные значения углов установки осей поворота управляемых колес.

Особенно следует отметить, что при достижении оптимальных значений нагруженность в каком-либо одном опасном сечении (в нашем случае средняя плоскость шкворня), во всех других сечениях также наблюдается улучшение нагруженности, пусть и не до оптимальных значений. Кроме того, полученные результаты и зависимости не идут вразрез с рекомендациями, отраженными в [1] и [2] по улучшению износа шин и устойчивости грузового автомобиля. Отметить можно также тот факт, что ряд проведенных исследований доказывает повышение параметров маневренности грузового автомобиля, что необходимо в городском цикле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балабин И.В. Закон оптимального соотношения углов поворота и наклона управляемых колес при движении автомобиля по криволинейной траектории // Автомобильная промышленность. — 2003. — №6. — С. 18-19.
2. Морозов С.А. Угловые параметры качения управляемых колес как фактор повышения устойчивости движения и снижения нагруженности передней оси грузового автомобиля: дисс... канд.техн.наук. — М., 2006. — 171 с.