



РЯЗАНЦЕВ
Виктор Иванович
доктор технических наук,
профессор
кафедры «Колесные
машины»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
e-mail:
ryazantsev1@yandex.ru

Свойства автомобиля с системой управления сходжением колес

В.И. Рязанцев

Рассмотрены вопросы регулирования углов сходжения колес при движении автомобиля. Описана реализация такого регулирования в зарубежной конструкции, проанализированы его преимущества и недостатки. Представлен метод регулирования сходжения колес, разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: активное управление геометрией подвески, активная система управления геометрией подвески, вариация угла сходжения, система активного управления углами сходжения колес автомобиля.

Characteristics of the car with toe-in control system

V.I. Ryazantsev

The article deals with the toe-in angles control while driving. The implementation of such control in a foreign design is considered, its advantages and disadvantages have been analyzed. The method of toe-in control developed in the Bauman Moscow State Technical University (BMSTU) is also presented.

Keywords: suspension geometry active control, suspension geometry active control system, toe-in angle variation, toe-in active control system.

В последнее время вопросу управления положением колес в целях повышения устойчивости движения автомобиля посвящено много исследований, в том числе работы, направленные на изучение устойчивости движения автомобиля в функции углов развала и сходжения. Это направление исследований обещает принести определенные положительные результаты. В настоящее время внимание уделяют активному управлению этими углами [1, 2], по последним оценкам бóльший эффект в обеспечении безопасности движения обеспечивает управление углами сходжения. Если еще недавно вопросы управления сходжением колес касались только колес управляемой оси, то в настоящее время конструкторы ведущих фирм уделяют большое внимание вопросу формирования угла сходжения колес задней оси.

С учетом сказанного выше в современных конструкциях автомобилей большое внимание уделяется вопросам положения главных плоскостей колес относительно дороги и положения упомянутых плоскостей относительно друг друга в различных режимах движения. В общем случае движения автомобиля положения колес управляемой оси в пространстве могут характеризоваться тремя параметрами:

- 1) курсовым углом управляемых колес автомобиля;
- 2) углом развала колес;
- 3) углом схождения колес.

В статике курсовой угол (оси) α задается положением рулевого колеса и определяется как полусумма курсовых углов правого и левого колеса $\alpha_{\text{п}}$ и $\alpha_{\text{л}}$ управляемой оси (рис. 1).

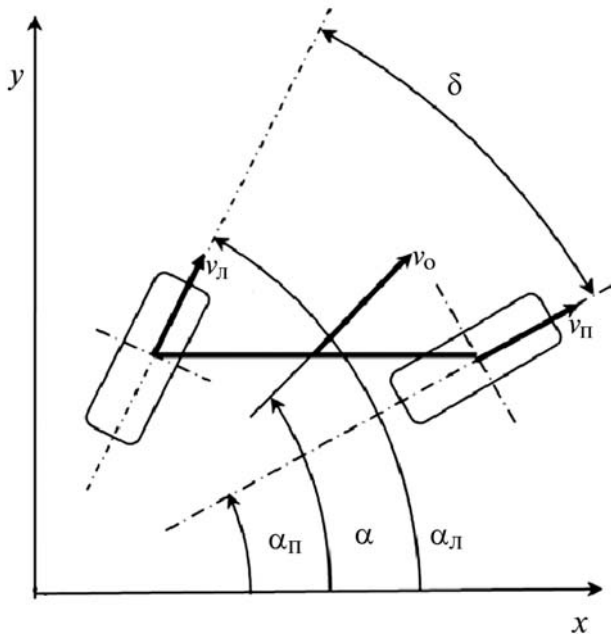


Рис. 1. Курсовые углы колес $\alpha_{\text{п}}$, $\alpha_{\text{л}}$ одной оси

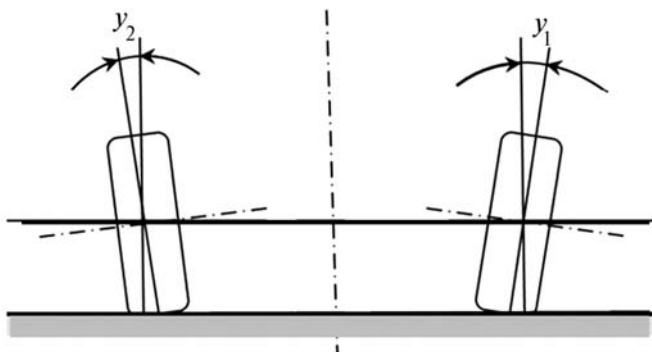


Рис. 2. Углы развала колес

Каждый из углов развала колес определяется как угол между главной плоскостью колеса и плоскостью, перпендикулярной к плоскости дороги (рис. 2).

Угол схождения колес в статике при нулевом развале определяется как угол между главными плоскостями левого и правого колес при нейтральном положении рулевого колеса (рис. 3) —

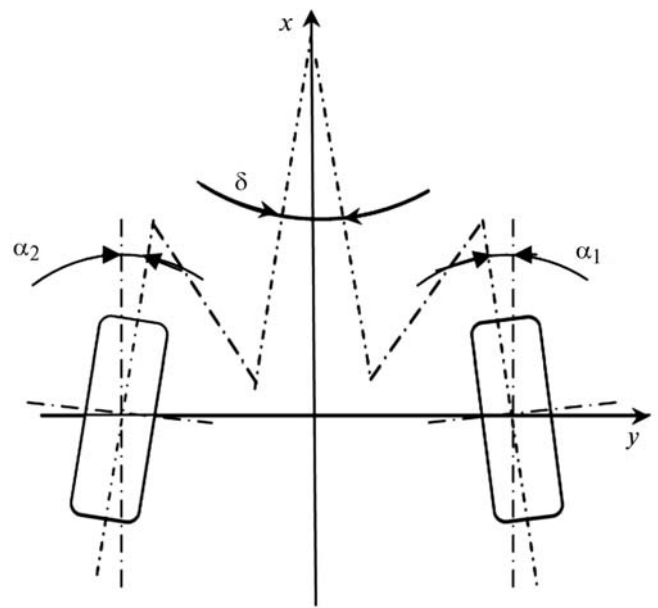


Рис. 3. Угол схождения колес одной оси автомобиля

это установочный угол схождения, выполняемый в стационарных условиях обслуживания автомобилей:

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2.$$

На практике при решении задач с углами схождения, связанных с учетом увода колеса, часто используют половину угла схождения

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}.$$

Следует различать понятия установочного угла схождения (см. выше) и текущего угла схождения. Определение установочного угла схождения, выполняемого для колес автомобиля в рамках регулировочных работ в процессе его производства или ремонта, было дано выше. На режиме движения с минимальной скоростью на горизонтальной поверхности по прямой текущий угол схождения может быть определен как разность курсовых углов колес. При отсутствии боковой нагрузки на колесо со стороны дороги этот угол совпадает с установочным углом схождения. Под действием внешних сил в результате вызванных ими деформаций элементов рулевого привода и подвески во время прямолинейного движения установочный угол схождения нарушается. На режимах интенсивного разгона и торможения под действи-

ем значительных продольных сил такое нарушение может быть весьма существенно. В этом случае мы уже имеем дело с текущим углом схождения. Этот угол непосредственно определяет появление паразитных боковых сил, действующих на колеса, т. е. сил, способствующих более быстрой потере устойчивости движения автомобиля.

При рассмотрении общего случая движения автомобиля на повороте появляется необходимость различать три понятия углов схождения. Первое — это установочный угол схождения, второе — текущий угол схождения (реальный угол схождения между главными плоскостями колес) и третье — текущий расчетный угол схождения. Это понятие рассмотрим ниже.

При движении в повороте с бесконечно малой скоростью и при идеальном выполнении механизма трапеции текущий угол схождения колес, при котором боковые реакции равны нулю (в предположении нулевых углов развала), равен текущему углу схождения, определенному выше. При этом боковые реакции отсутствуют, что соответствует нулевому текущему углу схождения при движении по прямой.

Значения боковых сил, действующих на колеса одной оси, определяются, с одной стороны, величиной центробежной силы, действующей на автомобиль, и боковой ветровой нагрузки, с другой, — значением схождения колес в текущий момент, или текущего расчетного схождения колес.

В общем случае при движении автомобиля по криволинейной траектории текущий расчетный угол схождения колес определяется, исходя из реальных траекторий движения каждого из колес управляемой или неуправляемой оси. Так, текущий расчетный угол схождения на этом режиме равен нулю, если колеса катятся по теоретическим траекториям, определяемыми геометрическими параметрами расположения управляемых колес (рис. 4). Это наблюдается при отсутствии боковой нагрузки на автомобиль, т. е. отсутствии центробежной или боковой ветровой нагрузки.

В общем случае при движении по криволинейной траектории текущий расчетный угол схождения колес управляемой оси

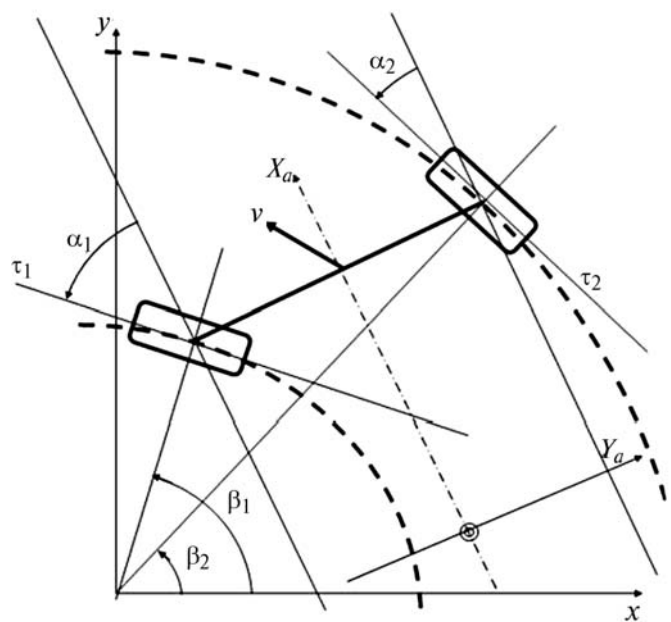


Рис. 4. Схема движения колес одной оси на повороте при нулевой боковой нагрузке

равен разности реального геометрического угла схождения δ_k (рис. 5) в данный момент, определяемого взаимным положением главных плоскостей колес, и угла схождения δ_r касательных к траекториям левого и правого колес в этих же точках. Текущий расчетный угол схождения

$$\delta_p = \delta_k - \delta_r$$

Текущий расчетный угол схождения может быть отрицательным, нулевым или положительным. На рисунке 5 представлен случай движения с отрицательным расчетным углом схождения, при котором значения боковых сил присутствуют в неблагоприятном сочетании. Значение боковой силы на внутреннем колесе превышает значение такой же силы на внешнем колесе, нагруженном большей вертикальной реакцией.

Изображенные на рис. 5 боковые силы создаются при достаточно больших отрицательных текущих расчетных углах схождения и относительно малых центробежных силах или ветровых, действующих на автомобиль.

При движении на повороте с некоторой скоростью появляются углы увода, направленные в сторону от центра поворота. Введение дополнительного угла схождения, распределенного

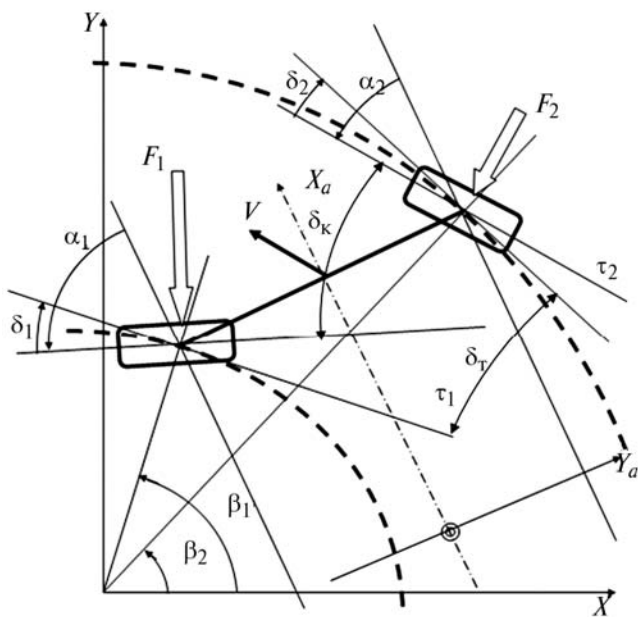


Рис. 5. Схема боковых сил на колесах с отрицательным текущим углом схождения

симметрично между левым и правым колесами, приводит к увеличению угла увода внешнего колеса и уменьшению угла увода внутреннего колеса. Следовательно, боковая сила внешнего колеса увеличивается, а боковая сила внутреннего колеса уменьшается. В зависимости от начальной установки угла схождения могут возникнуть разные ситуации с боковыми силами на колесах.

Реальный угол между плоскостями левого и правого колес может быть нулевым, т. е. левое и правое колеса оказываются параллельными друг другу. Если учесть замечание, что при движении по кривой реальное положение колес, соответствующее нулевому углу схождения в прямолинейном движении, должно быть отрицательным, то понятно, что параллельное положение колес при криволинейном движении соответствует положению колес с положительным схождением при прямолинейном движении.

При равных и направленных в одну сторону углах увода левого и правого колес (рис. 6) боковые силы равны и направлены в одну сторону.

Исследования, выполненные российскими и иностранными учеными, показали, что при увеличении в некоторых пределах установоч-

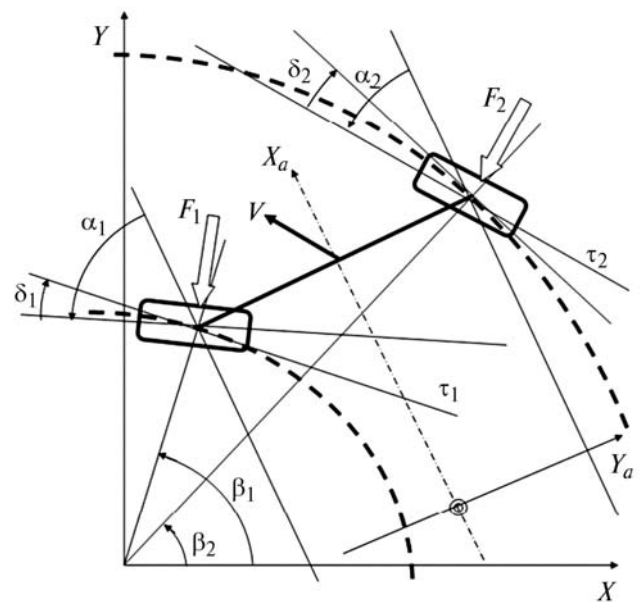


Рис. 6. Схема схождения колес одной оси при действии равных по модулю боковых сил на колесах

ного угла схождения автомобиль получает большую устойчивость движения при движении на высоких скоростях на повороте. Данный факт отметил еще академик Е.А. Чудаков. Позже это же экспериментально подтвердили зарубежные исследователи.

Выполненные теоретические исследования влияния управления текущим углом схождения колес автомобиля на устойчивость его движения показали эффективность этого способа повышения устойчивости автомобиля. Решая задачу устойчивости движения автомобиля в таких маневрах как движение по кругу, переставка, было отмечено, что движение автомобиля на этих режимах является более устойчивым при управлении схождением колес как передней, так и задней осей.

Реальный угол между плоскостями левого и правого колес может быть даже положительным (в действительности наблюдается схождение плоскостей колес рис. 7).

Управление схождением колес только задней оси [3, 4] лежит в основе системы AGCS (Active Geometry Control System), использованной на автомобиле южнокорейской фирмы Hyundai. Представленные в печати материалы по этому вопросу подтверждают положительный эффект применения такого управления.

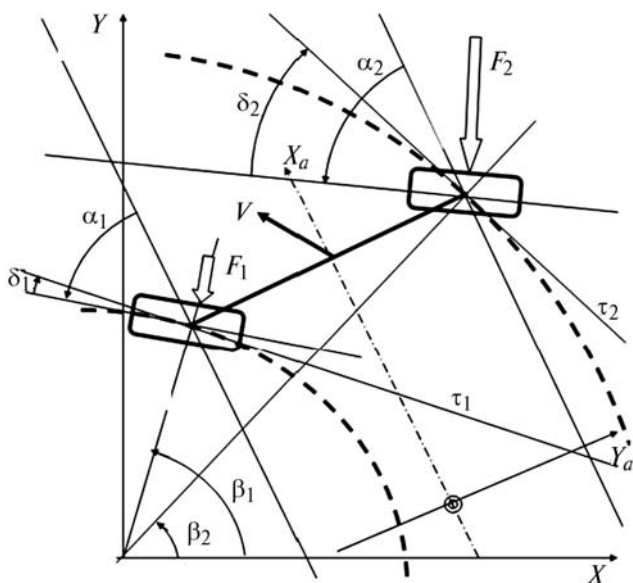


Рис. 7. Схема действия боковых сил на колесах, когда сила на внутреннем колесе меньше силы на внешнем колесе (текущий угол схождения — положительный)

В качестве критики этой системы управления можно указать два обстоятельства. Во-первых, регулирование схождения выполняется при опосредованном определении значений боковых сил на колесах путем вычислений на базе значений сигналов датчика угла поворота руля, приблизительно определяющего радиус поворота автомобиля, и скорости автомобиля. Это позволяет определить боковое ускорение (рис. 8), а также суммарную боковую силу, действующую на автомобиль, в функции его скорости и радиуса поворота. Во-вторых, регулирование схождения выполняется только на задней оси автомобиля, что не позволяет использовать преимуществ, приносимых применением управления схождением на передней оси.

Такое регулирование имеет право быть, но управление схождением только задних колес ограничивает эффект повышения устойчивости. Алгоритм управления схождением колес задней оси не является единственно возможным и наиболее эффективным. Например, алгоритм, примененный в конструкции зарубежного автомобиля, не позволяет выполнить регулирование угла схождения для повышения устойчивости движения автомобиля на режиме

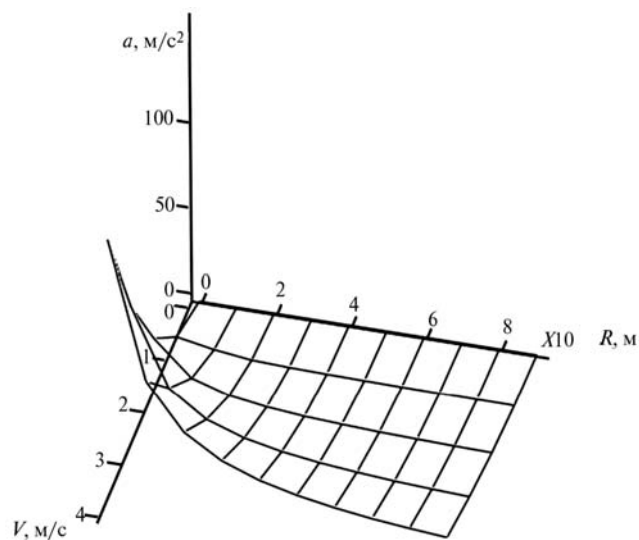


Рис. 8. Зависимость бокового ускорения автомобиля от скорости его движения и от радиуса окружности, которая является траекторией движения автомобиля

прямолинейного движения при действии бокового ветра.

Разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана алгоритм управления схождением колес передней и задней осей позволяет достичь большей эффективности в повышении устойчивости движения автомобиля. Этот алгоритм предполагает при движении автомобиля по горизонтальной прямой использование в качестве параметра регулирования величины, определяемой выражением

$$p_{\text{рег}} = \frac{F_{y1}}{F_{y2}} - \frac{F_{z1}}{F_{z2}}, \quad (1)$$

где F_z, F_{z2} — вертикальные и F_{y1}, F_{y2} — боковые силы, действующие на левые и правые колеса.

Такое управление схождением обеспечивает значения боковых сил на колесах, пропорциональные их вертикальным реакциям. Применение этого управления на передних и задних осях также повышает устойчивость движения автомобиля.

Одним из важных преимуществ предложенного алгоритма является возможность эффективного управления текущим углом схождения практически на всех режимах движения: как в движении по прямой, в том числе при действии боковой нагрузки, появляющейся в резуль-

тате движения по кособоку или при действии боковой ветровой нагрузки, так и при движении по криволинейной траектории, в том числе, также и при действии боковой ветровой нагрузки.

В отличие от алгоритма управления, примененного в автомобиле «Sonata», алгоритм предлагаемого управления предполагает применение датчиков вертикальных и боковых сил, действующих на колеса со стороны дороги. Это делает структуру управления сходимением колес несколько более сложной, требует применения управляющих программ.

При программировании работы системы автоматического регулирования угла схождения колес на режиме движения на вираже в качестве параметра регулирования угла схождения колес одной оси также можно применить выражение (1).

Математическая модель системы управления сходимением колес одной оси автомобиля при движении с боковой внешней силой в соответствии с рассмотренными положениями описывается системой уравнений [5]

$$m_n y'' = -c_1 \left(\frac{F_{y1}}{F_{y2}} - \frac{F_{z1}}{F_{z2}} \right) - ky';$$

$$y'_k = v_a (c_2 y - c_3 y_k).$$

Здесь c_y — коэффициент увода (величина, обратная обычно употребляемому коэффициенту сопротивления уводу); c и c_1 — передаточные коэффициенты в системе управления сходимением колес; c_2 — величина, обратная расстоянию от оси поперечной тяги до оси поворота колеса; $c_3 \approx c_y c_n$, где c_n — поперечная жесткость шины; y — координата перемещения рулевой поперечной полутяги; y_k — поперечная деформация шины.

Реализация приведенного алгоритма осуществляется при помощи модели системы автоматического регулирования, схема которого, выполненная в пакете Matlab Simulink, представлена на рис. 9.

Примеры результатов расчетов боковых сил, действующих на колеса двухосного автомобиля, на модели движения автомобиля без регулирования и с применением регулирования по представленному алгоритму изображены на

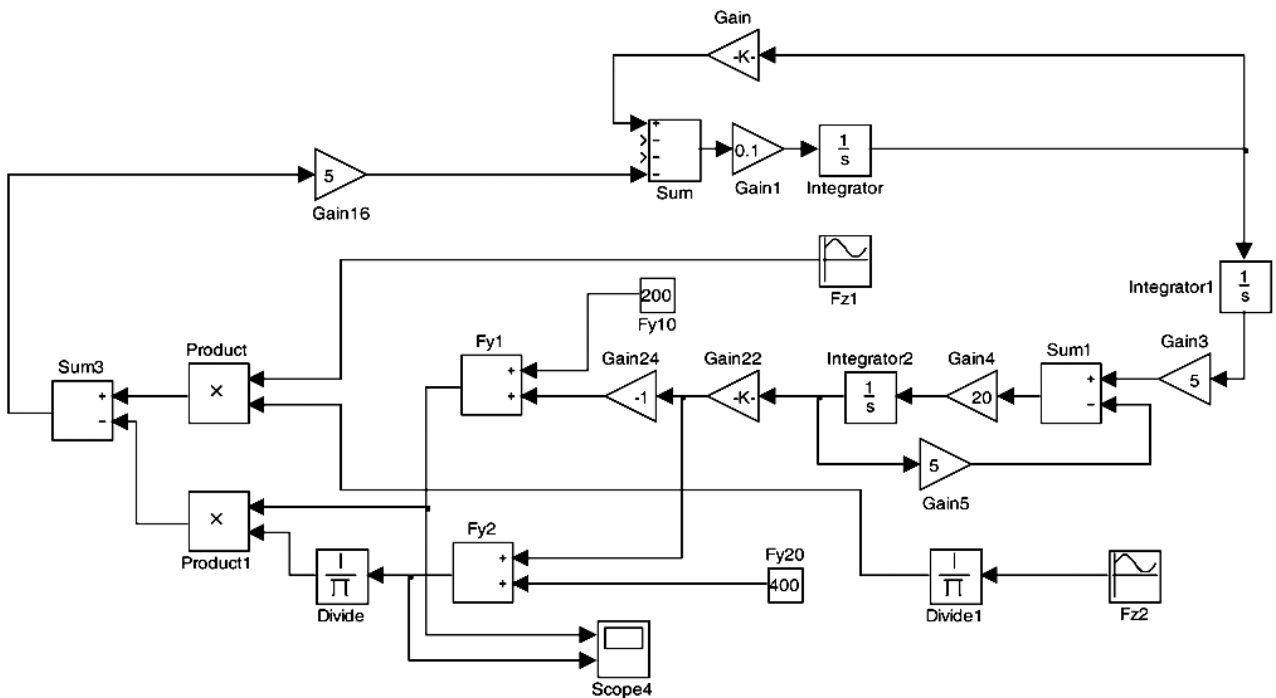


Рис. 9. Схема модели системы управления сходимением колес одной оси с регулированием по параметру

$$p_{reg} = \frac{F_{y1}}{F_{y2}} - \frac{F_{z1}}{F_{z2}}$$

при движении автомобиля под действием внешней боковой силы

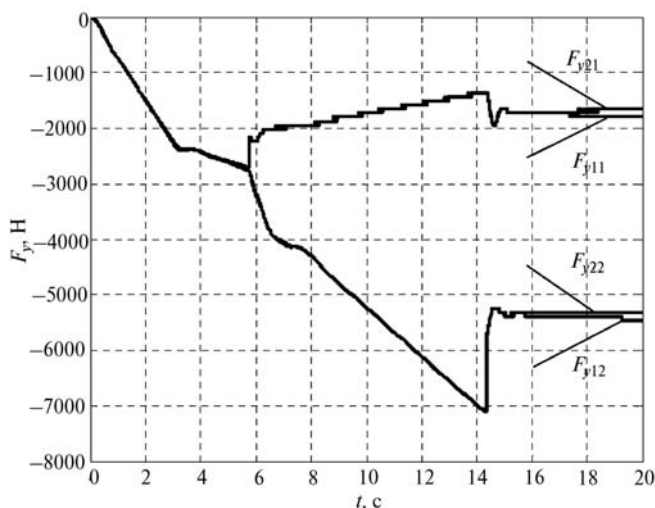


Рис. 10. Боковые силы на колесах под действием возрастающей внешней боковой силы, действующей на автомобиль, при отсутствии управления сходимением колес

рис. 10 и 11. На этих рисунках видно, что при наличии управления сходимением колес несколько больше по времени сохраняют боковую силу внешнего колеса без снижения ее значения от 14-й до почти 16-й секунды, что, соответственно, повышает устойчивость машины в плане бокового скольжения колес.

Выводы

1. Системы управления сходимением колес позволяют в широком диапазоне управлять значениями боковых сил, действующих на колеса одной оси.

2. Изменение в широком диапазоне значений боковых сил на левом и правом колесах позволяет обеспечить такие значения боковых сил, которые определяют наилучшую поперечную устойчивость оси, повышая возможные скорости движения автомобиля на вираже, или, вообще, повышая скорости движения при действии боковой нагрузки.

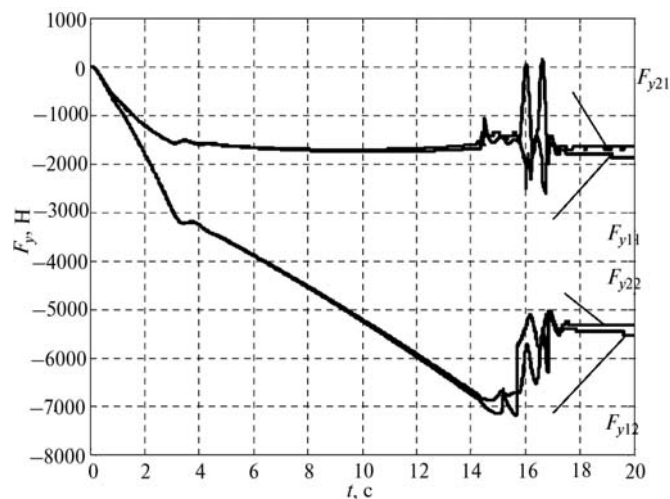


Рис. 11. Боковые силы на колесах под действием возрастающей внешней боковой силы, действующей на автомобиль, при управлении сходимением колес на двух осях

Конструкция фирмы Hyundai в определенной мере решает эту задачу.

Литература

1. Рязанцев В.И. Активное управление сходимением колес автомобиля. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 212 с.
2. Балабин И.В., Надеждин В.С. Оптимизация углов наклона плоскостей вращения управляемых колес при криволинейном движении — эффективный путь повышения надежности и ресурса несущих узлов автомобиля // Автомобильная промышленность. 2009. № 4. С. 17—19.
3. Unkoo Lee, Sangho Lee, Alexandre Catala. A new 4WS concept for Hyundai Sonata // www.autofocusasia.com/engine_chassis_systems/active_geometry_control_system.htm
4. Sangho Lee, Hyun Sung, Unkoo Lee (Hyundai Motor Company), «The Development of Active Geometry Control Suspension (AGCS) System», SAE 2005-01-1927.
5. Рязанцев В.И., Копяев А.В. Математическая модель системы автоматического регулирования угла сходимения управляемых колес автомобиля // Вестник машиностроения. 2001. № 7. С. 14—18.

Статья поступила в редакцию 21.06.2012