

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Гордеев Алексей Сергеевич

лаборант-исследователь

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

Боос Глеб Олегович

студент

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»

г. Пермь, Пермский край

Коновалов Виталий Валерьевич

студент

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

Просоедов Роман Александрович

студент, научный сотрудник, ассистент

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

Точилкин Андрей Владимирович

студент, специалист, инженер-исследователь

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: в данной статье авторами приведено математическое описание антиблокировочной системы колес на основе импульсного управления.

Ключевые слова: антиблокировочная система колес, грузовой автомобиль, математическое описание.

Задача АБС – регулировать скорость вращения колёс путём изменения давления в магистралях тормозной системы. Если во время торможения угловая скорость колеса приблизилась к нулю, электронный мозг тут же примет решение его «растормозить». Пневматический модулятор при помощи электроклапана стравит давление из магистрали и перенаправит «лишнюю» порцию тормозной жидкости в гидроаккумулятор. Давление будет снижаться до тех пор, пока колесо, снова «ухватившись» за покрытие, не раскрутится до определённой скорости. Далее ABS опять резко увеличит давление в магистрали и притормозит колесо. Цикл продолжится до тех пор, пока машина не остановится или водитель не ослабит давление на педаль до положения, когда ABS не нужна.

Математическое моделирование является первостепенной и наиболее важной задачей в разработке алгоритма управления для антиблокировочной тормозной системы. Тем не менее, моделирование антиблокировочной тормозной системы на самом деле является довольно непростой задачей, учитывая динамику АБС, высокую степень нелинейности. Тем не менее, в этой статье, представлена упрощенная модель для компьютерного моделирования и проектирования контроллера. Данная модель системы АБС на основе импульсного управления была реализована в среде симмуляционного блочного пакета моделирования Simulink (MATLAB), а позже интегрирована для программной среды TruckSim. В данной статье описаны процессы и их аналитическое описание для одного колеса. В дальнейшем подобная система реализуется для четырех колес трехосной модели автомобиля в среде TruckSim. Подобная антиблокировочная система устанавливается на колеса первой и третьей оси. Модель также включает в себя пневматический привод тормозов и модель фрикционной шины. Фрикционная модель шины дается в виде эмпирической функции, описывающей нелинейную связь между коэффициентом сцепления и проскальзыванием колес. Релейный контроллер был реализован для вышеуказанной модели для управления пробуксовки при заданной требуемой эталонной величине.

В данном исследовании берется модель трехосного автомобиля типа «КАМАЗ 65222», который моделируется в программе TruckSim. Стоит учесть, что

данная модель является идеальной, и для проведения опытной части рассматриваются две трассы, где первая трасса представляет собой маневр «переставки» на трассе с хорошим дорожным покрытием (чистый асфальт), а вторая трасса представляет собой тот же маневр «переставки» с видоизмененной трассой, где одна сторона колес едет по одной поверхности с одним коэффициентом трения поверхности, а вторая сторона колес едет по другой поверхности с другим коэффициентом трения поверхности.

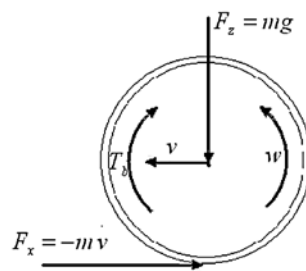


Рис. 1. Физическая модель одного колеса

F_x – тяговое усилие;

F_z – вертикальная нагрузка;

T_b – тормозной момент;

v – абсолютная скорость транспортного средства;

m – масса транспортного средства (рассматриваем четверть массы транспортного средства, так как распределение нагрузки идет на одно колесо);

μ – коэффициент трения;

μ_p – пик коэффициента трения;

λ_p – коэффициент проскальзывания колеса;

w – угловая скорость колеса;

r – радиус качения колеса;

J – момент инерции вращения колеса.

Система уравнений движения имеет вид:

$$\dot{v} = -F_x / m, \quad (1)$$

$$w = (rF_x - T_b) / J. \quad (2)$$

Сила трения шин определяется законом Кулона:

$$F_x = \mu(\lambda) F_z . \quad (3)$$

Продольное скольжение колеса определяется как:

$$\lambda = (v - wr) / v . \quad (4)$$

И коэффициент трения определяется по следующей функции:

$$\mu(\lambda) = 2\mu_p \lambda_p (\lambda / \lambda_p^2 + \lambda^2) . \quad (5)$$

Стоит учесть, что скорость изменения тормозного давления (или тормозного момента) пропорциональна скорости потока и может пропорционально контролировать открытие клапана. Таким образом, тормозное давление пропорционально степени открытия клапана.

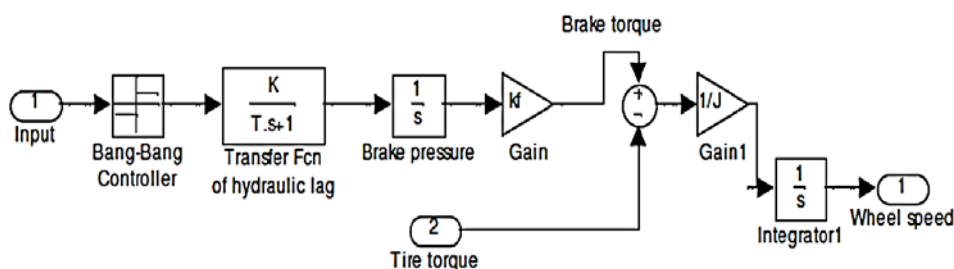


Рис. 2. Математическая реализация системы АБС с импульсным управлением, реализованном в прикладном пакете симуляционного моделирования Simulink (MATLAB) для одного из колес

Тормозной момент зависит от давления в колесном цилиндре. Давление контролируется электромагнитными клапанами. Следовательно, если $U(T)$ = давление, что создает входной сигнал для соленоида и $p(T)$ = давление в цилиндре, который берется в качестве выходного, то тормозная система, включая электромагнитные клапаны, может быть аппроксимирована как передаточная функция второго порядка.

$$H(s) = w_{\Pi}^2 / (s^2 + 2\xi w_{\Pi} s + w_{\Pi}^2) , \quad (6)$$

где w_{Π} = незатухающая собственная частота, а ξ = коэффициент демпфирования тормозной системы. Тормозной момент задается следующей формулой:

$$T_b = k_b p(t), \quad (7)$$

где k_b = усилитель тормозного момента.

В данной системе, чтобы контролировать скорость изменения давления в тормозной системе, модель вычитает реальное значение скольжения от желаемого и данная разница подается на релейный контролер (+1 или – 1, в зависимости от знака ошибки.) Это сигнал включения /отключения проходит через апериодическое звено запаздывания первого порядка, который представляет задержку, связанную с пневматическими линиями тормозной системы. Полученный в результате сигнал, умноженный на площадь поршня и радиус по отношению к колесу, является на выходе тормозным моментом, который применяется к колесу.

Пусть $x_1 = v/r$, $x_2 = w$ будут две установленные переменные, а $y = \lambda$ переменной выходной величиной. Исходя из уравнений (1), (2), (3) & (5), получаем:

$$x_1 = -(F_z / mr) 2\mu_p \lambda_p (\lambda / \lambda_p^2 + \lambda^2), \quad (8)$$

$$x_2 = (F_z r / j) 2\mu_p \lambda_p (\lambda / \lambda_p^2 + \lambda^2) - (T_b / J), \quad (9)$$

$$y = \lambda. \quad (10)$$

В этой модели, использовалась идеальная антиблокировочная тормозная система управления тормозами, которая основана на импульсном управлении, основанном на ошибке между фактическим значением скольжения и желаемым значением скольжения. Был установлен нужный параметр значения скольжения, при котором кривая μ – скольжения достигает пикового значения, что является оптимальным значением для минимального тормозного пути. Управляющий вход, а именно крутящий момент T_b тормоза, переключается между максимальным значением, $T_{b \max}$, и минимальным значением, 0, таким образом, чтобы сохранить скольжение, работающее в требуемой области.

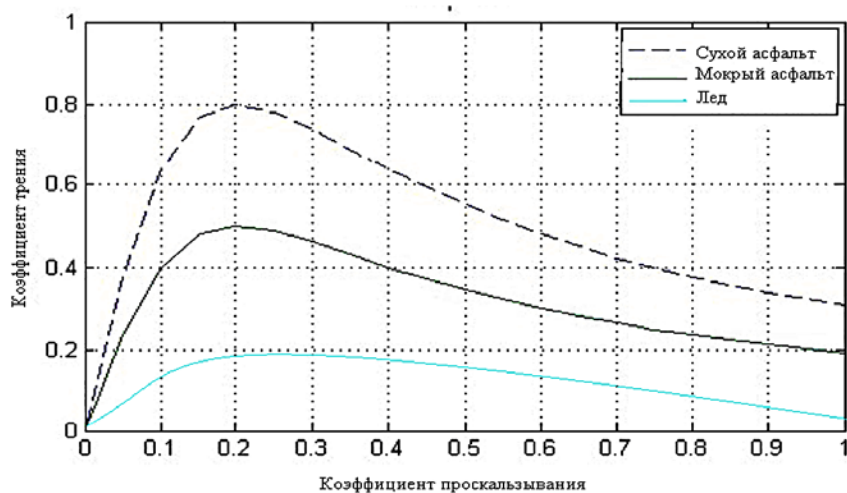


Рис. 3. Псевдостатическая кривая зависимости коэффициента трения от величины проскальзывания колеса

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента трения от величины проскальзывания колеса. Данный график наглядно демонстрирует зависимость при трех различных состояниях трассы, по которой движется транспортное средство. В данной статье рассматриваются три вида состояния траектории: сухой асфальт, мокрый асфальт, лед.

При движении по сухой дороге коэффициент сцепления будет наибольшим, в сравнении с мокрым асфальтом и льдом. Это объясняется тем, что при увеличении скорости возрастает частота вертикальных колебаний шины, и в результате шина контактирует с поверхностью дороги меньшее время. То есть она не успевает охватывать микронеровности дороги, как при более низкой скорости. Наиболее благоприятные данные моделирования можно получить при движении именно по сухому асфальту, так как даже при отсутствии антиблокировочной системы из-за высокого сцепления с дорогой автомобиль не будет опрокидываться на максимальной скорости или критично выходить за границы допустимого ограничения.

В случае мокрой дороги дождевые канавки в протекторе шины при увеличении скорости успевают отводить все меньше воды из пятна контакта. Поэтому чем больше скорость, тем больше воды скапливается в пятне контакта и тем меньше коэффициент сцепления. В конце концов может наступить момент, когда

шина полностью потеряет контакт с дорогой и всплывает, а автомобиль потеряет управляемость. Это явление называется аквапланированием. Критическая скорость, при которой обычно возникает аквапланирование – около 100 км/ч, а толщина водяной пленки – несколько сантиметров. Как правило, аквапланирование возникает во время дождя при движении в асфальтовой колее. При большей толщине водяной пленки аквапланирование не возникает, потому что создается сильное сопротивление качению шин, которое быстро гасит скорость, и до критической скорости машина не может разогнаться. Если же толщина водяной пленки небольшая, скажем, пара миллиметров, аквапланирования вообще не будет. Просто коэффициент сцепления с дорогой немного уменьшится, к примеру, с 0,8 на сухой дороге до 0,6 на влажной.

При движении по льду сцепление с дорогой практически теряется, так как коэффициент сцепления с дорогой будет минимальным, поэтому в данном случае установка антиблокировочной системы будет очень и очень важна для увеличения вероятности благоприятного исхода в случае экстренных ситуаций. Исходя из графика можно получить значение величины проскальзывания шины при максимальном коэффициенте трения и он будет равен $\lambda_d = 0.2$.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что действие полученных в ходе моделирования антиблокировочных систем, приводит к положительному эффекту на движение транспортного средства. В ходе проведенных опытов модель трехосного грузового автомобиля была протестирована на трех различных типах трасс (сухой асфальт, мокрый асфальт и лед) с АБС на основе импульсного управления.

Список литературы

1. Hart P.M. Review of Heavy Vehicle Braking Systems Requirements (PBS Requirements). – Draft Report, 2003.
2. Maier M. The New and Compact ABS Unit for Passenger Cars / M. Maier, K. Muller. – SAE Paper No. 950757, 1996.

3. Wellstead P.E. Analysis and Redesign of an Antilock Brake System Controller / P.E. Wellstead, L. Pettit. – IEE Proceedings Control Theory Applications, 1997. – С. 413–426.
4. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. – М.: Машгиз, 1959. – 254 с.
5. Калолко Л.И. Влияние микропрофиля дороги и параметров седельного автопоезда на его устойчивость против бокового заноса / Л.И. Кадолко, А.В. Жуков [и др.]. – Автомобильная промышленность, 1976. – С. 21–23.
6. Кадаков М.В. Renault Scenic RX4: Почти внедорожник, 2000. – 4 с.
7. Кацыгин В.В. Антизатропное качение колеса // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1968. – С. 12–16.