

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОТИВОБУКСОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ (ПБС) ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Хайрутдинова Г.В.

*ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18*

e-mail: hairutdinovaguzel@mail.ru

поступила в редакцию 08 декабря 2014 года

Аннотация

В статье приведены основные полученные результаты разработки цифровой модели противобуксовочной системы с использованием нейро-нечеткого регулятора.

Ключевые слова: *противобуксовочная система, пробуксовка, прямолинейное движение автомобиля, ведущие колеса, ведомые колеса, нейро-нечеткий регулятор.*

Введение. Особый интерес в области машиностроения представляют системы, оптимизирующие скольжение или буксование автомобильной шины. Известными отрицательными последствиями длительного буксования являются ухудшение динамики разгона транспортного средства, повышение вероятности потери курсовой и траекторной устойчивости движения при разгоне, интенсивный износ шин, ухудшение проходимости, увеличение расхода топлива и, как следствие, выбросов вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами. Противобуксовочные системы призваны улучшить сцепление шины с дорогой. Данная система постоянно отслеживает характер вращения ведущих колес, и, взаимодействуя с другими системами автомобиля, предотвращает их пробуксовку при возникновении критической ситуации.

Создание и внедрение противобуксовочной системы на автомобиле ставит его в преимущественное положение перед аналогом, не оснащенным подобной системой. И дело даже не в улучшении проходимости и разгонной динамики. Для большинства транспортных средств, которые принято называть коммерческими, то есть не предназначенными для индивидуального пользования, эти качества не носят принципиального характера. Противобуксовочная система создает целый ряд дополнительных преимуществ, таких как, например, уменьшение затрат на топливо, экономия на износе шин, уменьшение количества вредных веществ, выбрасываемых с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания и т.п.

Цели работы: разработка и исследование нечеткого регулятора для противобуксовочной системы (ПБС) грузового автомобиля.

Задачи:

- составить математическую модель движения автомобиля;
- разработка нечеткого регулятора для ПБС, используя математическую модель;
- исследование и анализ эффективности построенной модели.

Основная часть. При составлении модели системы внешних сил и моментов, действующих на автомобиль при прямолинейном движении, примем следующие допущения:

- левые и правые колеса одноименных мостов имеют одинаковые нагрузки;
- конфигурация автомобиля изображается в виде плоской фигуры;
- опорная поверхность дороги представляется в виде прямой линии, наклоненной под малым углом к горизонту;
- аэродинамическое сопротивление отсутствует;
- упругие свойства подвески не учитываются и колебания кузова не происходят.

В работе рассматривается прямолинейное движение автомобиля. Составим уравнение движения автомобиля [1]:

$$m_a v_x = R_{x2} - R_{x1},$$

где: v_x – скорость автомобиля вдоль горизонтальной оси;

R_{x1}, R_{x2} – горизонтальные реакции опорной поверхности дороги.

Рассмотрим колесо, катящееся по гладкой горизонтальной поверхности дороги с твердым покрытием в ведущем режиме. Составим общее уравнение динамики, согласно которому алгебраическая сумма работ всех внешних сил, приложенных к системе, равна нулю [1].

$$J_{к.в.нр} \frac{d\omega_{к.в}}{dt} = M_{к.в} - F_x r_{k0} - M_{f\phi} \quad (1)$$

Рассмотрим колесо, катящееся по недеформируемой поверхности в ведомом режиме. Составим общее уравнение динамики ведомого колеса аналогично случаю ведущего колеса [1]. Получим:

$$J_{к} \frac{d\varpi_{к}}{dt} = F_x r_{k0} - M_{f\phi} \quad (2)$$

На основании, описанной выше, математической модели, создадим модель прямолинейного движения автомобиля в Matlab Simulink (рисунок 1).

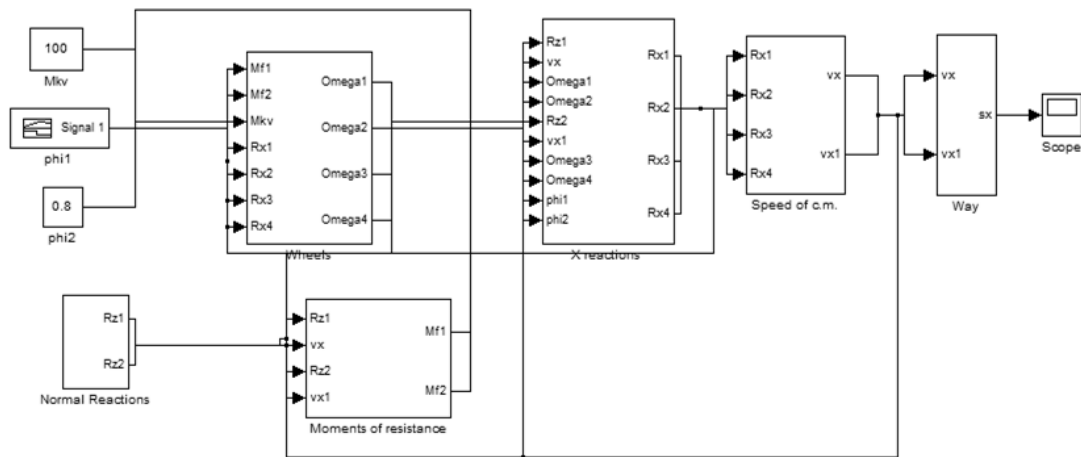


Рисунок 1. – Модель прямолинейного движения автомобиля в Matlab Simulink.

Подсистема «Wheels», построенная на основании формул (1) и (2), предназначена для расчета угловых скоростей колес правой и левой колеи автомобиля. Подсистема «X Reactions» предназначена для расчета продольных реакций дороги. Подсистема «Norm Reactions» предназначена для расчета нормальных реакций дороги. Подсистема «Moments of resistance» предназначена для расчета моментов сопротивления качению. Подсистема «Speed of c.m.», предназначена для расчета скорости центра масс колес автомобиля.

Для выявления эффекта буксования будем анализировать разность угловых скоростей ведущих колес автомобиля. Пусть при превышении этой разности некоторого значения одно из колес начинает буксовать и для того чтобы устранить буксование на этом колесе необходимо уменьшить подачу передаваемого от двигателя крутящего момента.

На вход нечеткого регулятора подается разность (w) угловых скоростей правого и левого ведущего колеса автомобиля. Нечеткий регулятор имеет два выхода:

- момент, подводимый к левому колесу от двигателя через трансмиссию (M_{kl});
- момент, подводимый к правому колесу от двигателя через трансмиссию (M_{kr}).

Диапазоны изменений значений термов для входных и выходных данных были установлены на основании исследования построенной модели движения автомобиля.

Входная переменная имеет 5 термов, рассматривающих следующие соотношения угловых скоростей ведущих колес:

- угловая скорость левого ведущего колеса намного больше угловой скорости правого колеса ($L \gg R$);
- угловая скорость левого ведущего колеса больше угловой скорости правого колеса ($L > R$);
- угловая скорость левого ведущего колеса приблизительно равна угловой скорости правого колеса ($L \sim R$);
- угловая скорость правого ведущего колеса больше угловой скорости левого колеса ($L < R$);
- угловая скорость правого ведущего колеса намного больше угловой скорости левого колеса ($L \ll R$).

Выходные переменные имеют по 3 термина:

- none;
- low;
- middle.

Нечеткие правила имеют следующий вид (рисунок 2):

1. If (w is $L \ll R$) then (Mkl is none)(Mkr is low) (1)
2. If (w is $L \gg R$) then (Mkl is low)(Mkr is none) (1)
3. If (w is $L \sim R$) then (Mkl is none)(Mkr is none) (1)
4. If (w is $L > R$) then (Mkl is middle)(Mkr is none) (1)
5. If (w is $L < R$) then (Mkl is none)(Mkr is middle) (1)

Рисунок 2. – Нечеткие правила.

Для проведения ряда экспериментов был выбран бортовой КАМАЗ-4308-НЗ (4x2) [3].

Примем следующие параметры:

- масса автомобиля $m = 11900$ кг;
- ускорение свободного падения $g = 9.8 \text{ М/с}^2$,
- приведенный к ведущему колесу суммарный момент инерции колеса, двигателя и трансмиссии $J = 10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Так же для упрощения вычислений, будем считать, что:

- автомобиль движется с небольшой скоростью;
- деформация колеса при качении невелика ($\approx 5\text{см}$) и радиус качения не меняется с течением времени;
- коэффициент сопротивления качению является постоянной величиной $f_0 = 0.02$;
- передаваемый от двигателя крутящий момент $M_{к.в} = 50000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. $100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для первого эксперимента, при прочих равных условиях, возьмем коэффициент сцепления $\varphi_1 = 0.8$ для левого колеса, а для правого представлен на рисунке 3:

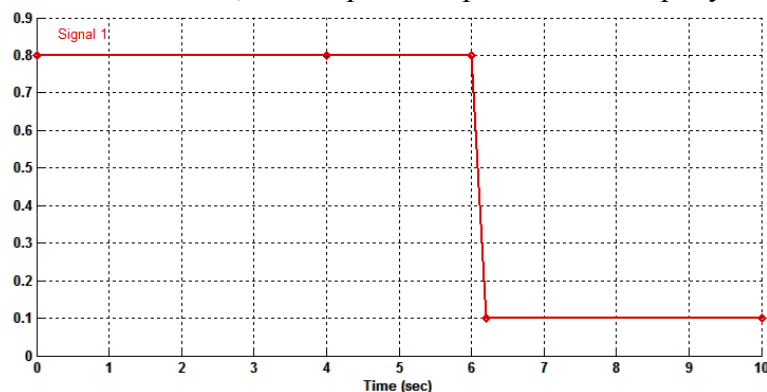


Рисунок 3. – Коэффициент сцепления для правого колеса.

Т.е. предполагаем, что правое колесо через ~ 6 секунд после начала движения попадает на обледенелый участок дороги и начинает буксовать.

Угловые скорости правого (синяя линия) и левого(зеленая линия) колеса до и после применения ПБС представлены ниже соответственно на рисунке 4 и рисунке 5:

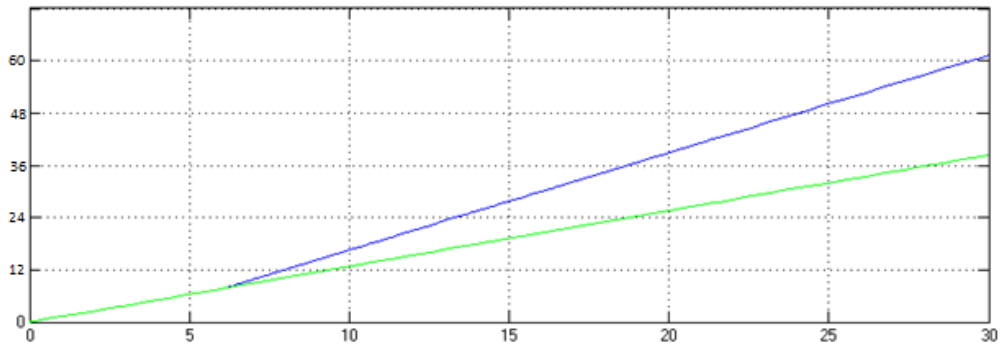


Рисунок 4. – Без использования ПБС.

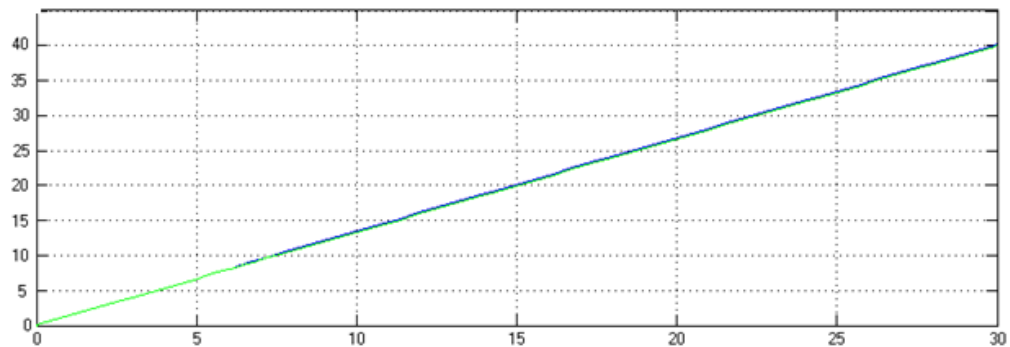


Рисунок 5. – После применения ПБС.

Для второго эксперимента, при прочих равных условиях, возьмем коэффициент сцепления $\varphi_1 = 0.8$ для правого колеса, а для левого представлен на рисунке 6:

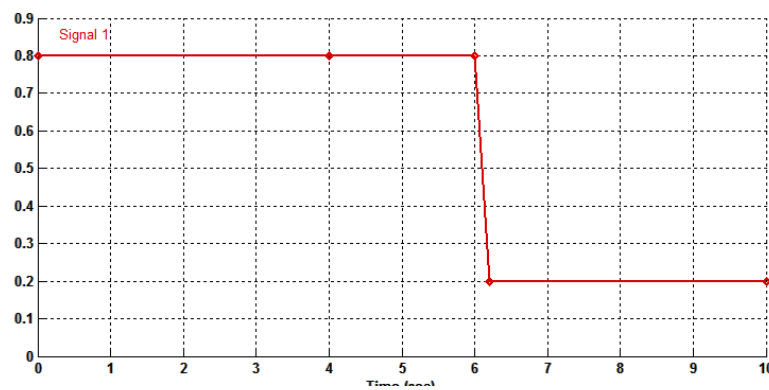


Рисунок 6. – Коэффициент сцепления для левого колеса.

Угловые скорости левого(зеленая линия) и правого (синяя линия) колеса без использования ПБС и после применения ПБС представлены ниже соответственно на рисунке 7 и рисунке 8:

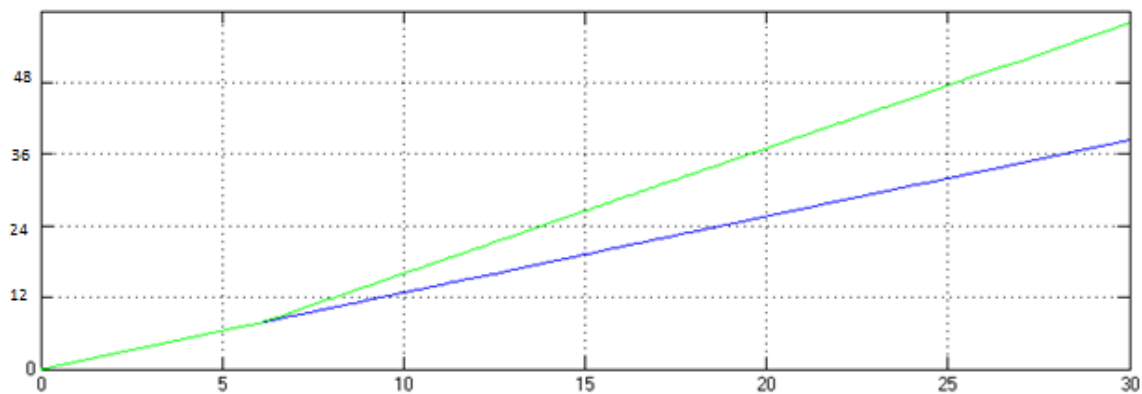


Рисунок 7. – Без использования ПБС.

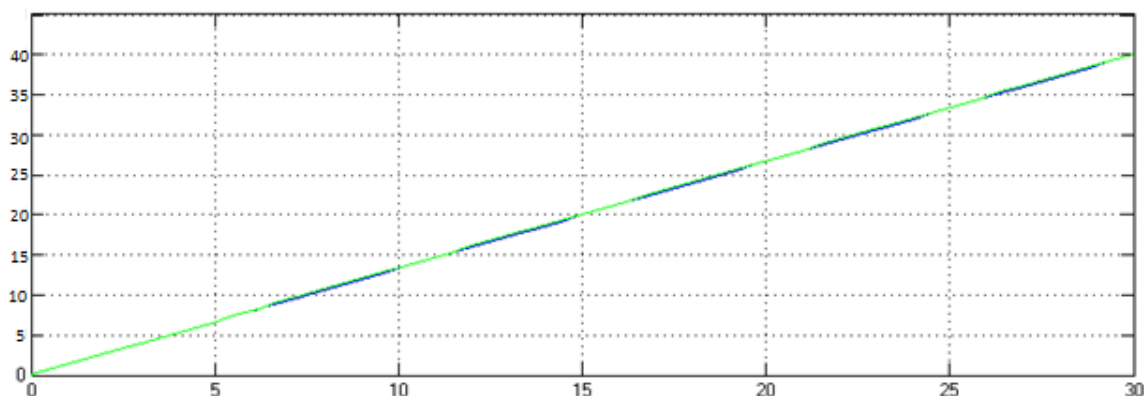


Рисунок 8. – После применения ПБС.

По приведенным выше графикам можно судить о том, что полученная модель ПБС устраняет эффект пробуксовки сразу же после его возникновения.

Заключение. В результате данной работы была получена адекватная и эффективная модель ПБС. Главным достоинством данной модели является её простота. Так как в начальных условиях мы приняли, что автомобиль движется с небольшой скоростью по гладкой горизонтальной дороге.

Благодарность. Выражаю благодарность своему научному руководителю Асанову А.З., а также Демьянову Д.Н. за помощь в подготовке к публикации данной работы.

Список литературы

- 1) Тарасик В.П. Теория я движения автомобиля: Учебник для вузов. СПб.: БВХ-Петербург, 2006. 478 с.
- 2) Интернет-ресурс: Подригало М.А., Клец Д.М., Назарько О.А. Динамика одиночного колеса автомобиля при срыве в полное буксование. Научная статья журнала «Автомобильный транспорт» Харьков: ХНАДУ. 2010. №26. <http://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-odinochnogo-kolesa-avtomobilya-pri-sryve-v-polnoe-buksovanie/> (Дата обращения 02.12.1013).
- 3) Интернет-ресурс: ОАО «КАМАЗ». <http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/cars/chassis/4308n3/> (Дата обращения 15.05.1014).