

Дудко Ольга Николаевна

студентка

Коновалов Виталий Валерьевич

студент

Молодориц Людмила Ивановна

студентка

Нелюбина Анастасия Дмитриевна

студентка

Точилкин Андрей Владимирович

студент, инженер-исследователь

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

г. Челябинск, Челябинская область

ОПИСАНИЕ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ (АБС) НА ОСНОВЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: данная статья посвящена описанию антиблокировочной системы для модели трехосного автомобиля типа «КамАЗ 65222». В работе отмечается, что рассматриваемая система выполнена на основе скользящего режима управления. Авторами при исследовании скользящего режима была разработана функциональная схема управления с помощью системы АБС

Ключевые слова: антиблокировочная система, скользящий режим, КамАЗ.

Система антиблокировочной системы (АБС) предотвращает блокировку колес и сохраняет управляемость во время жесткого тормозного маневра. Псевдостатическая кривая зависимости коэффициента трения от величины проскальзывания колеса представлена на рисунке 1.

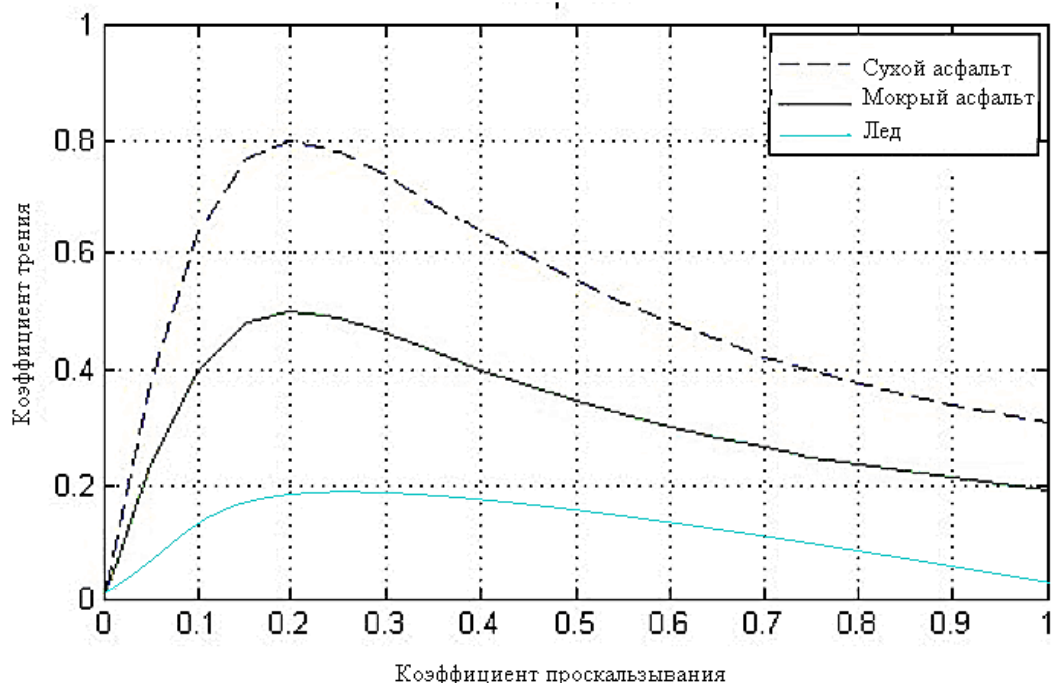


Рис. 1. Псевдостатическая кривая зависимости коэффициента трения от величины проскальзывания колеса

Возможность регулирования скольжение колеса, при котором коэффициент трения достигает своего максимального значения, позволит получить максимальную силу трения, соответственно тормозной путь транспортного средства уменьшается по сравнению с другими точками на кривой. Однако пик μ – кривой обычно изменяется в зависимости от поверхности и разной продольной скорости автомобиля, а динамика АБС представляет собой нелинейное поведение, поэтому скользящий режим управления, может быть применен для систем АБС.

При исследовании скользящего режима была разработана функциональная схема управления с помощью системы АБС, которая представлена рисунке 2.

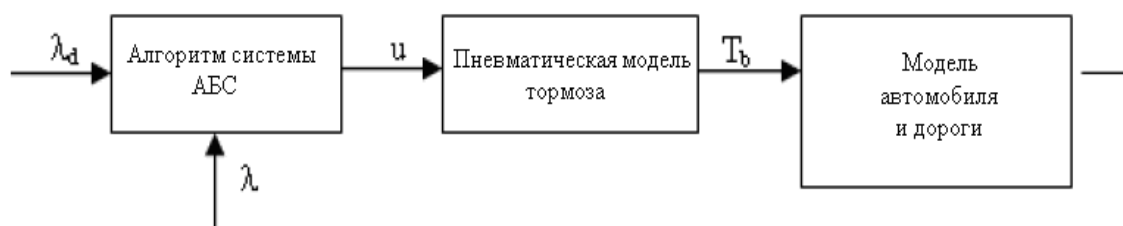


Рис. 2. Функциональная схема управления с помощью системы АБС

В данном исследовании мы берем модель трехосного автомобиля типа «камаЗ 65222», который моделируется в программе TruckSim. Данная модель является идеальной, и для проведения опытной части рассматриваются две трассы. Первая трасса представляет собой маневр «переставки» на хорошем дорожном покрытии (чистый асфальт), а вторая представляет тот же маневр, но на видоизмененной трассе, где одна сторона колес едет по одной поверхности с одним коэффициентом трения, а вторая – по другой поверхности и с другим коэффициентом трения [1].

Дифференцируя уравнение ($y = \lambda$), получим:

$$\dot{y} = \dot{\lambda} = \frac{d}{dt}(1 - (wr/v)) = \frac{d}{dt}(1 - (x_2/x_1)) = \frac{x_1(1 - \lambda) - x_2}{x_1}. \quad (1)$$

Теперь, подставляя значения x_1 x_2 из в уравнение (1), получим:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \frac{1}{x_1} \left[-(F_z/mr) 2\mu_p \lambda_p \left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2} \right) (1 - \lambda) - \left(\frac{rF_z}{J} \right) 2\mu_p \lambda_p \left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2} \right) + \frac{T_b}{J} \right] = \\ &= \frac{1}{x_1} \left[2\mu_p \lambda_p \left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2} \right) \left(-(F_z/mr)(1 - \lambda) - \frac{rF_z}{J} \right) + \frac{T_b}{J} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Контроль силы торможения достигается посредством регулирования скольжения колеса при взаимосвязи между скольжением колес и коэффициентом сцепления, вызванного взаимодействием шин с дорогой.

Для управления на основе скользящего режима используется метод устойчивости по Ляпунову.

Пусть $V(x)$ – непрерывно дифференцируемая функция, которая скалярно определена в области D , содержащей начало координат. Функция $V(x)$ называется положительно определенной, если $V(0) = 0$ и $V(x) > 0$ для любого x . Метод Ляпунова говорит о том, что функция является положительно определенной, если она отрицательна и функция является отрицательно определенной, если она положительна. Обобщенная функция Ляпунова характеризует движение транспортного средства по траектории поверхности скольжения и определяется функцией поверхности [2].

Теперь скользящий режим управления используется для отслеживания скольжения опорного колеса, следовательно, скользящая поверхность может быть определена по формуле:

$$s(t) = \left(\frac{d}{dt} + \gamma\right)^{r-1} (\lambda - \lambda_d). \quad (3)$$

Где γ строго положительная константа, которая принимается в качестве пропускной способности системы, а r – порядок системы на выходе. Так как порядок системы на выходе равен единице, то:

$$s(t) = (\lambda - \lambda_d). \quad (4)$$

Целью контроллера, основанного на скользящем режиме управления, является поддержания транспортного средства на поверхности для всего последующего времени. Основываясь на исследованиях Ляпунова, функция имеет вид $V = 0.5s^2$ для скользящей поверхности [3].

Отсюда можно сделать вывод, что целью данного исследование является нахождение такого управление, чтобы

$$\frac{d}{dt}(0.5s^2) = s, \text{ где } \dot{s} < 0 \quad (5)$$

Необходимо учесть, что полный закон управления скользящей системой состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое называется эквивалентным управлением и сохраняет состояние $s = 0$ при скользящем движении. Второе слагаемое задается нелинейным управлением. Данное управление выражается следующей формулой [4]:

$$u = u_{eq} + u_{nl} \quad (6)$$

Динамика вдоль поверхности скольжения задается уравнением:

$$\dot{s} = 0. \quad (7)$$

Дифференцируем уравнение (6) по обе стороны при $\dot{s} = \dot{\lambda}$ (λ_d – константа).

Объединяя уравнения (1), (2), (6), получаем:

$$\dot{y} = \frac{1}{x_1} (2\mu_p \lambda_p \left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}\right) (- (F_z / mr)(1 - \lambda) - \frac{rF_z}{J}) + \frac{T_b}{J}) = 0.$$

Соответственно, эквивалентное управление выражается, как

$$T_b = u_{eq}(t) = Jx_1(2\mu_p\lambda_p\frac{1}{x_1}(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}))(F_z / mr(1-\lambda) + \frac{rF_z}{J}). \quad (8)$$

К эквивалентному закону управления должно добавляться дополнительное управление, которое преобразует уравнение к виду:

$$u(t) = u_{eq}(t) + u_s(t). \quad (9)$$

Таким образом, уравнение движения задается следующим неравенством:

$$\dot{s}(t)s(t) < 0. \quad (10)$$

Выполняя условие (10), траектория движения автомобиля всегда направлена в сторону скользящей поверхности, таким образом, гарантируя устойчивость по Ляпунову даже при параметрических вариациях.

Управление переключением используемое в данном исследовании, задается следующим уравнением [5]:

$$u_s(t) = -(Jx_1)\rho \frac{s(t)}{|s(t)| + \delta}, \quad (11)$$

где δ – толщина пограничного слоя, которую выбирают так, чтобы уменьшить дребезг системы.

Теперь, чтобы оценить состояние системы, получаем уравнение:

$$\begin{aligned} s(t)\dot{s}(t) &= s(t)\left(\frac{1}{x_1}(2\mu_p\lambda_p\left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}\right)(-\alpha(1-\lambda) - \beta) + \frac{T_b}{J})\right) = s(t)\left(\frac{1}{x_1}(2\mu_p\lambda_p\left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}\right)(-\alpha(1-\lambda) - \right. \\ &\left. - \beta) + \frac{u(t)}{J})\right) = s(t)\left(\frac{1}{x_1}(2\mu_p\lambda_p\left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}\right)(-\alpha(1-\lambda) - \beta) + \frac{1}{x_1}(2\mu_p\lambda_p\left(\frac{\lambda}{\lambda_p^2 + \lambda^2}\right)(\alpha(1-\lambda) + \beta)) - \right. \\ &\left. - \rho \frac{s(t)}{|s(t)| + \delta}\right) \end{aligned}$$

$$\text{где } \alpha = \frac{F_z}{mr}, \beta = \frac{rF_j}{J}, T_b = u(t).$$

Следовательно, условия скольжения определяются при $\rho > 0$. Следовательно, для $\rho > 0$ закон управления $u(t) = u_{eq}(t) + u_s(t)$ приводит траекторию транспортного средства на скользящей поверхности и позволяет остаться на ней.

Для получения более значимых результатов скользящего режима полученная система АБС сравнивается с уже смоделированной системой импульсного

управления. Типичный профиль дороги предполагается фиксированной на весь процесс тестирования.

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента трения от величины проскальзывания колеса. Рассматриваются три вида состояния траектории: сухой асфальт, мокрый асфальт, лед.

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.

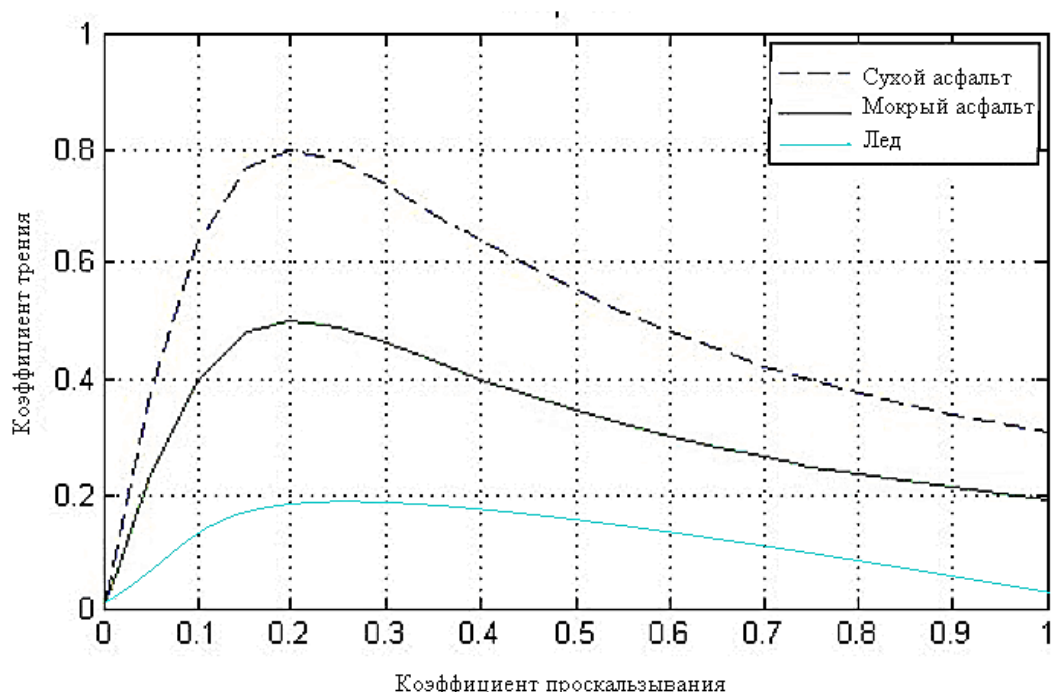


Рис. 3. График зависимости коэффициента трения от коэффициента проскальзывания для скользящего режима управления

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. 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 важна для увеличения вероятности благоприятного исхода в случае экстренных ситуаций.

Список литературы

1. Hart P.M. Review of Heavy Vehicle Braking Systems Requirements (PBS Requirements) / P.M. Hart. – Draft Report, 2003.
2. Зимелев Г.В. Теория автомобиля / Г.В. Зимелев. – М: Машгиз, 1959. – 254 с.
3. Калолко Л.И. Влияние микропрофиля дороги и параметров седельного автопоезда на его устойчивость против бокового заноса / Л.И. Кадолко [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1976. – С. 21–23.
4. Кадаков М.В. Renault Scenic RX4: Почти внедорожник / М.В. Кадаков. – 2000. – 4 с.
5. Кацыгин В.В. Антизатропное качение колеса / В.В. Кацыгин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1968. – С. 12–16.