

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЯ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 4×4

С.А. Алексеев

alekseevsa@student.bmstu.ru

SPIN-код: 5614-2917

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Представлен алгоритм работы системы динамической стабилизации автомобиля с колесной формулой 4×4 и переменным подключаемым приводом передней или задней осей. В ходе разработки алгоритма изучен принцип работы системы динамической стабилизации и проанализирован характер движения двухосного автомобиля по опорной поверхности с разными сцепными свойствами без использования системы и с ее использованием. Методами имитационного моделирования движения двухосных автомобилей с задней и передней ведущими осями проведены испытания разработанного алгоритма и доказана его работоспособность. Сделаны выводы о целесообразности построения алгоритма работы системы динамической стабилизации для улучшения динамических свойств и повышения безопасности движения автомобиля. Алгоритм предполагается использовать для имитационного моделирования движения колесных машин для повышения показателей устойчивости и управляемости разрабатываемых автомобилей.

Ключевые слова

Колесная машина, имитационное моделирование, устойчивость, управляемость, система динамической стабилизации, активная безопасность, занос автомобиля, безопасность движения транспорта

Поступила в редакцию 13.06.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Скорости движения автомобильного транспорта и интенсивность движения трафика стали гораздо выше, чем они были 20–30 лет назад, в то же время качество дорожного покрытия и водительские навыки автомобилистов зачастую оставляют желать лучшего. Непредсказуемые метеоусловия являются еще одним немаловажным фактором, влияющим на качество сцепления колеса с опорной поверхностью. Все это вызывает определенные риски и опасность при движении автомобильного транспорта.

Современный автомобиль представляет собой сложный комплекс механических и электронных компонентов, которые призваны помочь водителю в решении разного рода задач, возникающих в процессе движения. Устройство системы динамической стабилизации (СДС) является одним из таких компонентов.

Система динамической стабилизации призвана помогать водителю в сложных дорожных ситуациях, ее назначение — уменьшать риск возникновения до-

рожно-транспортных происшествий или угроз здоровью и жизни людей из-за потери устойчивости движения. Система динамической стабилизации позволяет удерживать автомобиль в пределах заданной водителем траектории при различных режимах движения (разгон, торможение, движение по прямой и в поворотах, свободное качение) [1]. По своей значимости в области повышения активной безопасности автомобиля и его управляемости СДС не уступает антиблокировочной системе тормозов.

Целью данной работы является повышение безопасности движения автомобиля и улучшение его динамических свойств в результате построения алгоритма работы системы динамической стабилизации автомобиля 4×4. Алгоритм реализуется благодаря подтормаживанию отдельных колес автомобиля и регулировки крутящего момента двигателя.

Задачи исследования связаны с разработкой алгоритма работы СДС с целью компенсации возможного заноса задней или сноса передней осей на основе модели криволинейного движения колесной машины (КМ) 4×4 с переменным подключением передней или задней ведущих осей, выполненной в среде MATLAB/Simulink, а также с оценкой эффективности алгоритма [2].

Анализ подходов к методам стабилизации движения автомобилей. Основной принцип работы СДС основан на контроле траектории движения и положения центра масс автомобиля с помощью датчиков угла поворота руля, бокового ускорения, угловой скорости продольной оси автомобиля, скорости вращения и нагрузки на каждое колесо. На основе обработки получаемой информации электронный блок управления подает сигналы на подтормаживание одного или нескольких колес, на перераспределение крутящего момента на колесах, снижение крутящего момента на валу двигателя и на изменение других характеристик. Все это создает вращающий момент вокруг вертикальной, продольной и поперечной осей автомобиля, тем самым предотвращая его возможный снос, занос или опрокидывание [3].

В настоящее время в мире осуществляются активные разработки, совершенствование и внедрение систем активной безопасности автомобиля, которые призваны повысить его устойчивость, управляемость и, как следствие, гарантировать безопасность движения. Создаются СДС различных типов.

Принцип работы некоторых систем основан на изменении и перераспределении крутящих моментов между колесами автомобиля. В данном случае целесообразно применять полноприводную схему трансмиссии, в которой регулировка тяговой силы возможна на всех движителях, что благоприятно сказывается на динамических свойствах автомобиля и возможности реализации алгоритмов управления. Разработке методов, связанных с таким типом СДС, посвящены, например, работы [4, 5].

Другим примером СДС могут быть системы, которые ограничиваются подтормаживанием отдельных колес транспортного средства без изменения и перераспределения крутящих моментов между колесами.

СДС вступает в работу, когда на большой скорости при прохождении поворота передние колеса сносит с заданной траектории в направлении действия сил инерции, т. е. по радиусу большему, чем радиус поворота. СДС в этом случае притормаживает заднее колесо, идущее по внутреннему радиусу поворота, придавая автомобилю бóльшую поворачиваемость и направляя его в поворот. Одновременно с притормаживанием колес СДС снижает обороты двигателя. Если при прохождении поворота происходит занос задней оси автомобиля, СДС активизирует тормоз переднего колеса, идущего по наружному радиусу поворота. Таким образом, появляется момент противовращения, исключая боковой занос.

Демонстрация работы СДС при сносе передней оси и заносе задней оси автомобиля представлена на рис. 1.



Рис. 1. Работа СДС при сносе передней оси (слева) и заносе задней оси автомобиля (справа)

Существуют и другие методы повышения устойчивости и управляемости колесных машин, связанные с автоматической корректировкой угла поворота управляемых колес. Таким методам посвящены, например, работы [6–8].

Возможно сочетание сразу нескольких названных способов стабилизации движения [9].

Различные методы стабилизации движения автомобиля достаточно подробно описываются авторами [6–9], однако алгоритмы определения и корректировки величин управляющих сигналов и моментов зачастую не раскрываются.

Статья посвящена разработке и описанию алгоритма работы системы динамической стабилизации автомобиля с колесной формулой 4×4 и переменным подключаемым приводом передней или задней осей. Алгоритм реализуется за счет подтормаживания отдельных колес автомобиля и регулировки крутящего момента двигателя.

Математическая модель дифференциальной трансмиссии автомобиля 4×4 с переменным подключаемым приводом передней или задней ведущих осей. Рассмотрим схему трансмиссии автомобиля 4×4 с переменным подключаемым приводом передней или задней ведущих осей, т. е. работающим в режиме 4×2 с разными ведущими осями. Схема трансмиссии (при работе в режиме заднего привода) изображена на рис. 2.

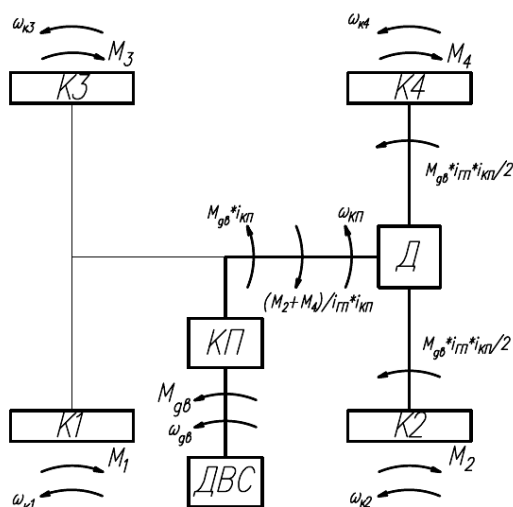


Рис. 2. Схема дифференциальной трансмиссии КМ 4×2 с задней ведущей осью:

К1...К4 — колеса; КП — коробка передач; ДВС — двигатель внутреннего сгорания;
 Д — симметричный неуправляемый межколесный дифференциал

Трансмиссия, схема которой изображена на рис. 2, может быть описана следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} J_k \dot{\omega}_{k1} = -M_1; \\ J_k \dot{\omega}_{k2} = M_{дв} i_{к.п} i_{г.п} - M_2; \\ J_k \dot{\omega}_{k3} = -M_3; \\ J_k \dot{\omega}_{k4} = M_{дв} i_{к.п} i_{г.п} - M_4; \\ \omega_{дв} = \frac{\omega_2 + \omega_4}{2} i_{к.п} i_{г.п}, \end{cases}$$

где J_k — момент инерции колеса; $\dot{\omega}_{ki}$ — угловое ускорение вращения i -го колеса; M_i — момент сопротивления на i -м колесе; $\dot{\omega}_{дв}$ — угловое ускорение вращения вала двигателя; $M_{дв}$ — крутящий момент, развиваемый двигателем; $i_{к.п}$ — передаточное отношение коробки передач; $i_{г.п}$ — передаточное отношение главной передачи передней оси.

Система уравнений для КМ с передним приводом аналогична:

$$\begin{cases} J_k \dot{\omega}_{k1} = M_{дв} i_{к.п} i_{г.п} - M_1; \\ J_k \dot{\omega}_{k2} = -M_2; \\ J_k \dot{\omega}_{k3} = M_{дв} i_{к.п} i_{г.п} - M_3; \\ J_k \dot{\omega}_{k4} = -M_4; \\ \omega_{дв} = \frac{\omega_1 + \omega_3}{2} i_{к.п} i_{г.п}. \end{cases}$$

Момент сопротивления на i -м колесе вычисляется по формуле

$$M_i = M_{Ti} + M_{fi} + R_{ki}r_d,$$

где M_{Ti} — тормозной момент на i -м колесе; M_{fi} — момент сопротивления качению i -го колеса; R_{ki} — проекция силы взаимодействия i -го колеса с опорным основанием на направление плоскости колеса; r_d — расстояние от оси колеса до опорной поверхности.

Реализация алгоритма работы системы динамической стабилизации работы в среде MATLAB/Simulink. Алгоритм работы системы динамической стабилизации сводится к автоматическому подтормаживанию отдельных колес автомобиля и уменьшению крутящего момента двигателя при потере машиной устойчивости. Работа СДС основывается на механизме распознавания заноса, принцип работы которого описан в [10].

Механизм распознавания заноса построен на сравнении скоростей переднего и заднего мостов. Величина разности $razn$ скоростей переднего и заднего мостов принимает следующие значения:

- 1) $razn = 0$ — занос задней или передней осей не происходит;
- 2) $razn < 0$ — возникает занос задней оси автомобиля;
- 3) $razn > 0,1$ — возникает занос передней оси автомобиля;
- 4) $0 < razn \leq 0,1$ — занос задней или передней осей не происходит (зона нечувствительности).

Код программы распознавания заноса представлен ниже:

```
function razn = fcn(w, wk1, wk2, wk3, wk4, teta1, teta3,
l1, l2, rk)
%#codegen
w1 = (wk1 + wk3)/2;
w2 = (wk2 + wk4)/2;
teta = (teta1 + teta3)/2;
vx1 = w1*rk*cos(teta);
vx2 = w2*rk;
vy1 = w1*rk*sin(teta) - w*l1;
vy2 = w*l2;
v1 = sqrt(vx1*vx1 + vy1*vy1);
v2 = sqrt(vx2*vx2 + vy2*vy2);
razn = v1 - v2;
if abs(razn) < 0.1
razn = 0;
end
```

При работе СДС подтормаживание отдельных колес автомобиля и уменьшение оборотов двигателя реализуются с помощью управляющих сигналов $c1$, $c2$, $c3$, $c4$. В зависимости от модуля разности $razn$ (далее $abs(dV)$) скоростей переднего и заднего мостов, т. е. от того, насколько сильный занос возникает, меняются значения управляющих сигналов c_i .

$$c_i = \text{abs}(dV) \cdot k,$$

где k — поправочный коэффициент. Значение поправочного коэффициента равно 0,000097 в случае заноса задней оси и 1,2 в случае сноса передней оси.

Управляющие сигналы c_1 , c_2 , c_3 , c_4 нужны для распределения тормозных сил по определенным колесам в зависимости от направления поворота автомобиля. В данной работе моделируется кратковременный поворот управляемых колес на $\pm 15^\circ$ с последующим их возвратом в нейтральное положение. Таким образом, условиями для подтормаживания конкретных колес являются значения следующих величин: разности скоростей dV мостов КМ и угла $teta$ поворота управляемых колес автомобиля:

- а) $teta > 0$ — поворот налево;
- б) $teta < 0$ — поворот направо.

Как описано ранее, в случае возникновения заноса задней оси СДС подтормаживает переднее колесо, идущее по наружному радиусу поворота, а в случае сноса передней оси — заднее колесо, идущее по внутреннему радиусу поворота, тем самым стабилизируя корпус КМ и сохраняя нужную траекторию ее движения. На основе этих соображений был составлен алгоритм работы системы динамической стабилизации.

Далее представлен код алгоритма срабатывания СДС:

```
function brake = fcn(dV, teta)
%#codegen
c1 = 0;
c2 = 0;
c3 = 0;
c4 = 0;
if dV < 0 %занос задней оси
if teta > 0 %поворот налево
c3 = abs(dV)*0.000097; %подтормаживание переднего правого
колеса
end
if teta<0 %поворот направо
c1=abs(dV)*0.000097; %подтормаживание переднего левого ко-
леса
end
end
if dV > 0 %снос передней оси
if teta > 0 %поворот налево
c2 = abs(dV)*1.2; %подтормаживание заднего левого колеса
end
if teta < 0 %поворот направо
c4 = abs(dV)*1.2; %подтормаживание заднего правого колеса
end
end
brake = [c1; c2; c3; c4];
c1, c2, c3, c4 — управляющие сигналы.
```

Алгоритм работы СДС и механизм распознавания заноса КМ в среде MATLAB/Simulink записаны с помощью блоков MATLAB Fuction (рис. 3).

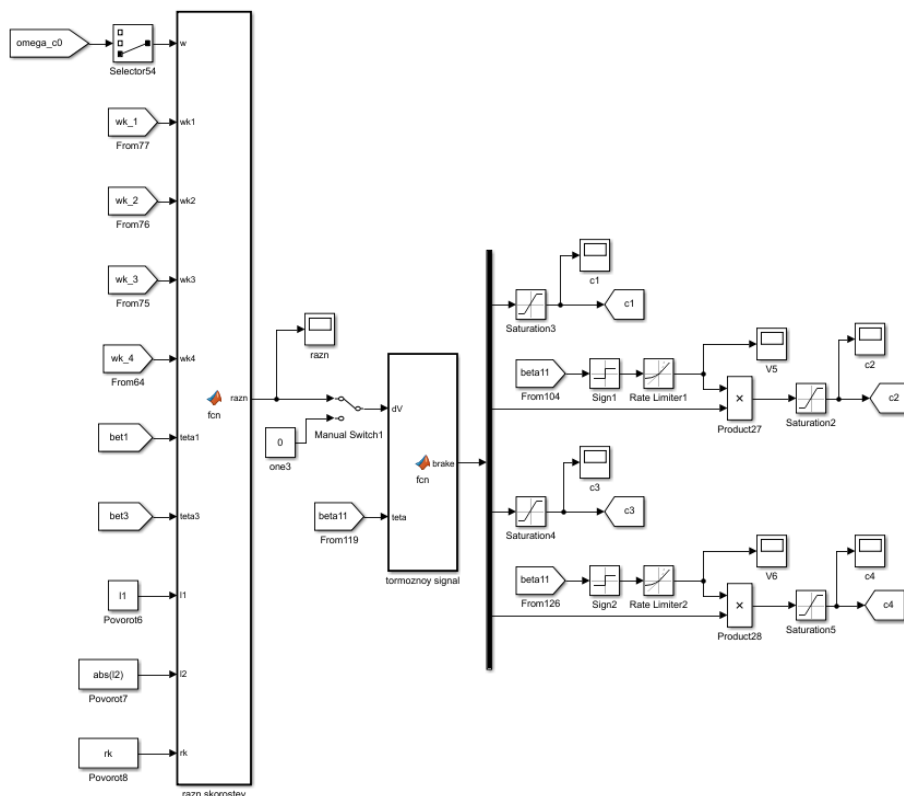


Рис. 3. Блок механизма распознавания заноса задней и передней осей

С помощью управляющих сигналов c_i регулируется степень подтормаживания отдельных колес, которая варьируется от 0 до 1 с помощью блока Saturation, а блок Rate Limiter отвечает за плавность работы тормозных механизмов (рис. 3). Кроме того, с помощью управляющих сигналов c_i регулируется степень снижения крутящего момента двигателя, другими словами, насколько сильно система «душит» двигатель. Крутящий момент двигателя снижается автоматически в случае заднего привода и вручную в случае переднего привода [2].

Моделирование испытаний. Как сказано выше, для определения динамических свойств автомобиля при работе системы динамической стабилизации проводится моделирование прохождения колесной машиной испытания с кратковременным поворотом управляемых колес на $\pm 15^\circ$ с последующим их возвращением в нейтральное положение.

В процессе моделирования автомобиль движется равномерно со скоростью 30 км/ч. Моделирование проводится при движении по опорной поверхности с разными коэффициентами сцепления:

а) высокий коэффициент сцепления — *сухой асфальт*: $\mu_{sx\max} = 0,8$; $\mu_{sy\max} = 0,8$; $S_0 = 0,05$; $S_1 = 0,1$; $f = 0,02$;

б) низкий коэффициент сцепления — *лед со снегом*: $\mu_{sx\max} = 0,35$; $\mu_{sy\max} = 0,35$; $S_0 = 0,05$; $S_1 = 0,1$; $f = 0,04$.

Задний привод:

а) высокий коэффициент сцепления — *сухой асфальт*. Траектория движения автомобиля в режиме *привода задней оси* по сухому асфальту без возникновения заноса представлена на рис. 4;

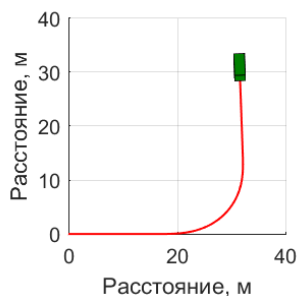


Рис. 4. Траектория движения автомобиля в режиме привода задней оси по сухому асфальту без возникновения заноса при повороте налево (направо аналогично)

б) низкий коэффициент сцепления — *лед со снегом*. Траектория движения автомобиля в режиме *привода задней оси* по льду со снегом с возникновением заноса *без работы СДС* показана на рис. 5.

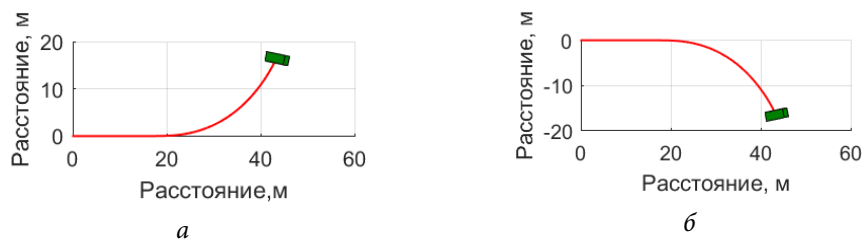


Рис. 5. Траектория движения автомобиля в режиме привода задней оси по льду со снегом с возникновением заноса без работы СДС:

а — поворот налево; *б* — направо

Траектория движения автомобиля в режиме *привода задней оси* по льду со снегом с возникновением заноса *с активной работой СДС* представлена на рис. 6.

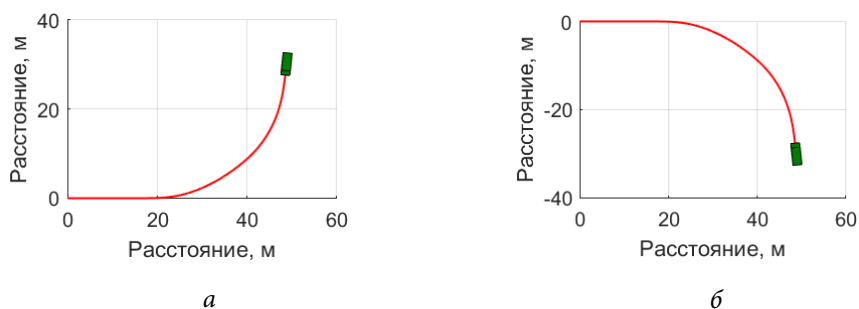


Рис. 6. Траектория движения автомобиля в режиме привода задней оси по льду со снегом с возникновением заноса и активной работой СДС:

а — поворот налево; *б* — направо

График изменения курсового угла автомобиля в режиме *привода задней оси* при движении по льду со снегом и возникновении заноса *без работы СДС* (кратковременный поворот управляемых колес налево/направо с последующим их возвратом в нейтральное положение) представлен на рис. 7, а.

График изменения курсового угла автомобиля в режиме привода задней оси при движении по льду со снегом и возникновении заноса с активной работой СДС представлен на рис. 7, б.

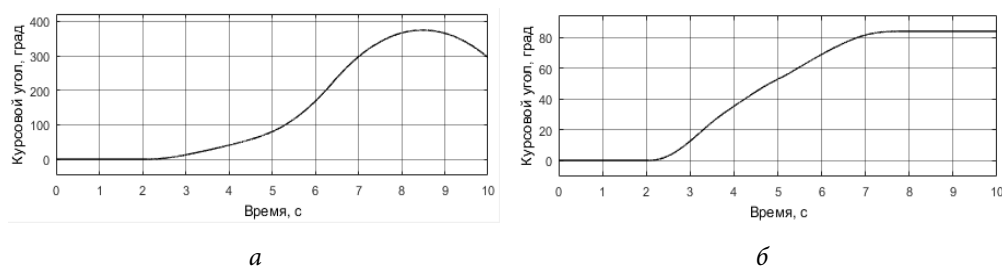


Рис. 7. График изменения курсового угла автомобиля при движении по льду со снегом и возникновении заноса:
а — без работы СДС; б — с активной работой СДС

График тормозного момента на правом переднем колесе при возникновении заноса и повороте налево с активной СДС представлен на рис. 8, а.

График тормозного момента на левом переднем колесе при возникновении заноса и повороте направо с активной СДС показан на рис. 8, б.

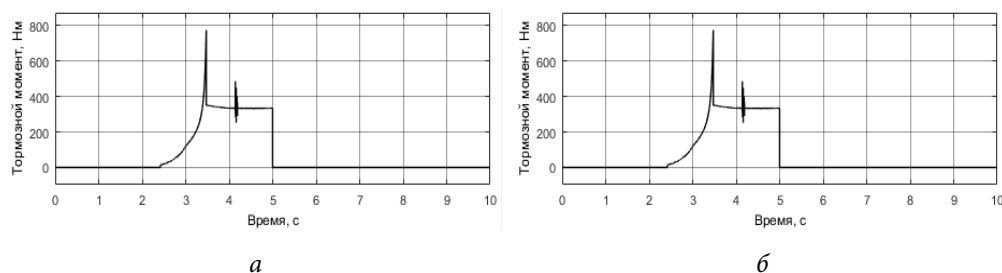


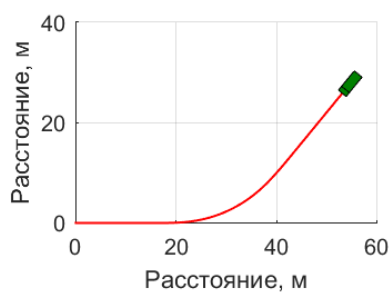
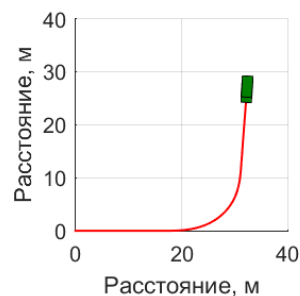
Рис. 8. График тормозного момента:
а — на правом переднем колесе; б — на левом переднем колесе

Передний привод:

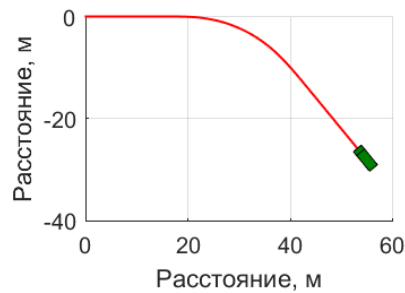
а) Высокий коэффициент сцепления — *сухой асфальт*. Траектория движения автомобиля в режиме *привода передней оси* по сухому асфальту без возникновения сноса показана на рис. 9;

б) низкий коэффициент сцепления — *лед со снегом*. Траектория движения автомобиля в режиме *привода передней оси* по льду со снегом с возникновением сноса *без работы СДС* представлена на рис. 10.

Рис. 9. Траектория движения автомобиля в режиме привода передней оси на сухом асфальте без возникновения сноса при повороте налево (направо аналогично)



а

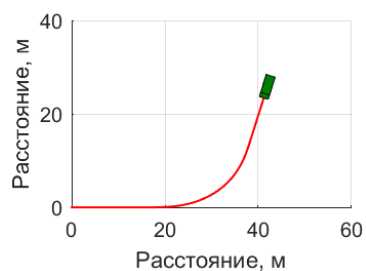


б

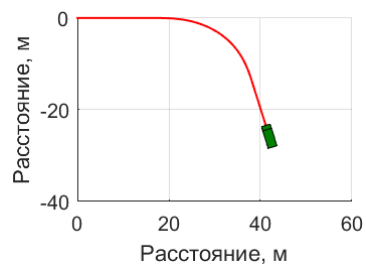
Рис. 10. Траектория движения автомобиля в режиме привода передней оси по льду со снегом с возникновением сноса без работы СДС:

а — поворот налево; б — направо

Траектория движения автомобиля в режиме *привода передней оси* по льду со снегом с возникновением сноса с *активной работой СДС* представлена на рис. 11.



а



б

Рис. 11. Траектория движения автомобиля в режиме привода передней оси по льду со снегом с возникновением сноса и активной работой СДС:

а — поворот налево; б — направо

График изменения курсового угла автомобиля в режиме *привода передней оси* при движении по льду со снегом с возникновением сноса *без работы СДС* (кратковременный поворот управляемых колес налево с последующим их возвратом в нейтральное положение) представлен на рис. 12, а.

График изменения курсового угла автомобиля в режиме *привода передней оси* при движении по льду со снегом с возникновением сноса с *активной работой СДС* приведен на рис. 12, б.

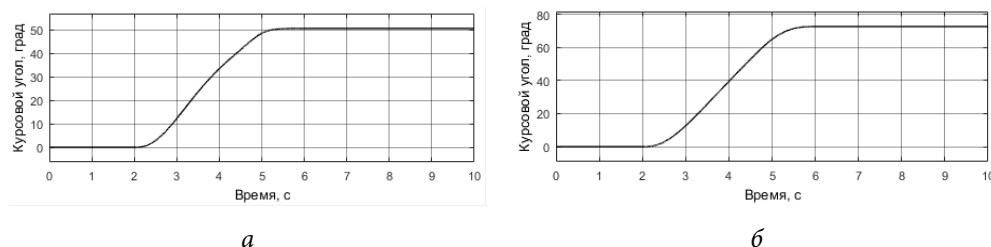


Рис. 12. График изменения курсового угла автомобиля при движении по льду со снегом с возникновением сноса:

а — без работы СДС; *б* — с активной работой СДС

При работе СДС на автомобиле с передней ведущей осью существует одна важная особенность. При совершении маневра наблюдается явление недостаточной поворачиваемости, т. е. снос передней оси. Как было описано ранее, в случае сноса передней оси СДС подтормаживает заднее колесо, идущее по внутреннему радиусу поворота, но стабилизация КМ не обеспечивается в должной степени только лишь подтормаживанием колес. В этом случае требуется интенсивное снижение крутящего момента двигателя, т. е. резкое снижение тяги «сброс газа» на скользкой опорной поверхности, из-за чего начинается занос задней оси (избыточная поворачиваемость). Происходит смена вида поворачиваемости — с недостаточной на избыточную. По этой причине при совершении маневра переднеприводным автомобилем СДС подтормаживает именно передние колеса, идущие по наружному радиусу поворота.

График тормозного момента на правом переднем колесе при возникновении заноса при повороте налево с активной СДС представлен на рис. 13, а.

График тормозного момента на левом переднем колесе при возникновении заноса при повороте направо с активной СДС показан на рис. 13, б.

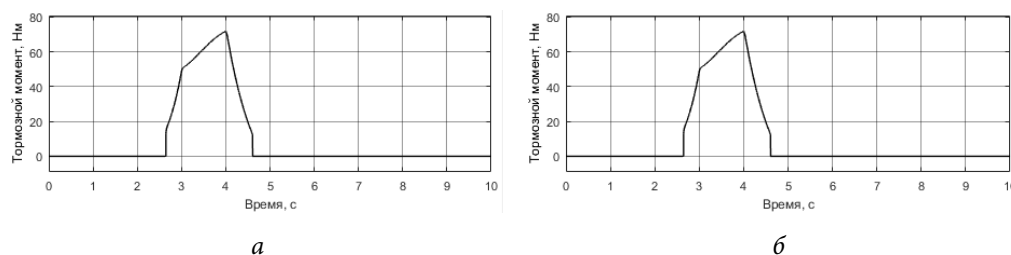


Рис. 13. График тормозного момента:

а — на правом переднем колесе; *б* — на левом переднем колесе

Как видно, СДС обеспечивает достаточный уровень стабилизации автомобиля при совершении маневра на скользком покрытии в каждом из режимов

движения. Однако настройка работы СДС автомобиля очень тонкая, кроме подтормаживания отдельных колес необходимо уменьшать крутящий момент двигателя, что является неотъемлемой частью стабилизации КМ.

Кроме того, в случае переднеприводного автомобиля может потребоваться дополнительная коррекция траектории входа в поворот при сносе передней оси и работающей системе СДС, это можно осуществить на практике в результате коррекции угла поворота управляемых колес, т. е. подруливания водителем.

Можно сделать вывод, что система динамической стабилизации работает исправно, предотвращая занос задней или снос передней осей автомобиля и стабилизируя его положение. Алгоритм работы СДС с автоматическим подтормаживанием отдельных колес и снижением крутящего момента двигателя автомобиля подобран верно.

Заключение. Разработан алгоритм распознавания заноса и работы СДС с автоматическим подтормаживанием отдельных колес и снижением крутящего момента двигателя автомобиля, а также проведено моделирование испытаний, целью которого было выяснение целесообразности применения СДС автомобиля при заносе.

Вывод: применение системы динамической стабилизации автомобиля имеет высокий потенциал и значительно повышает устойчивость, управляемость и безопасность движения КМ.

В дальнейшем данный алгоритм можно использовать для имитационного моделирования движения колесных машин для повышения показателей устойчивости и управляемости разрабатываемых автомобилей.

Литература

- [1] Жилейкин М.М. Алгоритм работы системы динамической стабилизации для заднеприводного двухосного автомобиля. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 9, с. 34–44. DOI: 10.18698/0536-1044-2015-9-34-44 URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/tpengineering/hidden/1207.html>
- [2] Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
- [3] Козлов Ю.Н. Методы оценки эффективности работы систем динамической стабилизации АТС. *Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров. Мат. Межд. науч.-тех. конф.* М., МГТУ «МАМИ», 2010, с. 37–39.
- [4] Karogal I., Ayalew B. Independent torque distribution strategies for vehicle stability control. *SAE Technical Paper*, 2009, no. 2009-01-0456. DOI: 10.4271/2009-01-0456 URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-01-0456/>
- [5] Osborn R.P., Shim T. Independent control of all-wheel-drive torque distribution. *SAE Technical Paper*, 2004, no. 2004-01-2052. DOI: 10.4271/2004-01-2052 URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2004-01-2052/>
- [6] Mammari S., Baghdassarian V.B. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering. *Proc. Amer. Control Conf.*, 2000, vol. 1, pp. 105–109.
- [7] Рязанцев В.И. Активное управление сходимостью колес автомобиля. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

- [8] Rodrigues A.O. Evaluation of an active steering system. Master's degree project. Stockholm, 2004.
- [9] Mokhiamar O., Abe M. Active wheel steering and yaw moment control combination to maximize stability as well as vehicle responsiveness during quick lane change for active vehicle handling safety. *Proc. Inst. Mech. Eng. D*, 2002, vol. 216, no. 2, pp. 115–124. DOI: 10.1243/0954407021528968 URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/0954407021528968>
- [10] Анкинович Г.Г., Вержбицкий А.Н., Жилейкин М.М. Метод определения параметров движения двухосных колесных машин для обеспечения работы системы динамической стабилизации. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 4, с. 11–20. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-4-11-20 URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/tpengineering/hidden/1411.html>

Алексеев Сергей Александрович — студент кафедры «Колесные машины», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Жилейкин Михаил Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Алексеев С.А. Разработка алгоритма работы системы динамической стабилизации автомобиля с колесной формулой 4×4. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 9(38). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-526>

DEVELOPMENT OF THE WORK ALGORITHM FOR THE DYNAMIC STABILIZATION SYSTEM OF A VEHICLE WITH 4×4 WHEEL ARRANGEMENT

S.A. Alekseev

alekseevsa@student.bmstu.ru

SPIN-code: 5614-2917

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**Abstract**

The article presents the algorithm for the dynamic stabilization system of a car with a 4×4 wheel arrangement and a variable-connected front or rear axle drive. When developing the algorithm, the principle of the dynamic stabilization system operation was studied and the nature was analyzed of the biaxial vehicle movement along a supporting surface with different coupling properties without using and using the system. Using the methods of simulation of two-axle vehicles movement with rear and front driving axles, authors have tested the developed algorithm and proved its performance. Conclusions have been drawn on the appropriateness of building an algorithm for the dynamic stabilization system to improve dynamic properties and increase vehicle safety. The algorithm is supposed to be used for wheeled vehicles movement simulation to increase the stability and controllability of developed vehicles.

Keywords

Wheel vehicle, simulation, stability, controllability, dynamic stabilization system, active safety, skidding, traffic safety

Received 13.06.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Zhileykin M.M. An algorithm of work of the dynamic stabilization system for a two-axle rear-wheel drive car. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2015, no. 9, pp. 34–44. DOI: 10.18698/0536-1044-2015-9-34-44 URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/tpengineering/hidden/1207.html> (in Russ.).
- [2] Zhileykin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnykh sredstv [Modeling of vehicle systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018 (in Russ.).
- [3] Kozlov Yu.N. [Efficiency assessment methods for vehicle dynamic stabilization systems]. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov. Mat. Mezhd. nauch.-tekh. konf.* [Vehicle and tractor manufacturing in Russia: development priorities and personnel training. Proc. Int. Sci.- Tech. Conf.]. Moscow, MGTU “MAMI” Publ., 2010, pp. 37–39 (in Russ.).
- [4] Karogal I., Ayalew B. Independent torque distribution strategies for vehicle stability control. *SAE Technical Paper*, 2009, no. 2009-01-0456. DOI: 10.4271/2009-01-0456 URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-01-0456/> (in Russ.).
- [5] Osborn R.P., Shim T. Independent control of all-wheel-drive torque distribution. *SAE Technical Paper*, 2004, no. 2004-01-2052. DOI: 10.4271/2004-01-2052 URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2004-01-2052/> (in Russ.).
- [6] Mammari S., Baghdassarian V.B. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering. *Proc. Amer. Control Conf.*, 2000, vol. 1, pp. 105–109.

- [7] Ryazantsev V.I. Aktivnoe upravlenie skhozhdeniem koles avtomobilya [Active control on vehicle wheel toe-in]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2007 (in Russ.).
- [8] Rodrigues A.O. Evaluation of an active steering system. Master's degree project. Stockholm, 2004.
- [9] Mokhiamar O., Abe M. Active wheel steering and yaw moment control combination to maximize stability as well as vehicle responsiveness during quick lane change for active vehicle handling safety. *Proc. Inst. Mech. Eng. D*, 2002, vol. 216, no. 2, pp. 115–124. DOI: 10.1243/0954407021528968 URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/0954407021528968>
- [10] Ankinovich G.G., Verzhbitskiy A.N., Zhileykin M.M. A method of determining motion parameters of two-axle wheeled vehicles to ensure the operation of the dynamic stability system. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2017, no. 4, pp. 11–20. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-4-11-20 URL: <http://izvuzmash.ru/catalog/tpengineering/hidden/1411.html> (in Russ.).

Alekseev S.A. — Student, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Zhileykin M.M., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Alekseev S.A. Development of the work algorithm for the dynamic stabilization system of a vehicle with 4×4 wheel arrangement. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 9(38). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-526.html> (in Russ.).