

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Просоедов Роман Александрович

студент, научный сотрудник, ассистент

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

г. Челябинск, Челябинская область

Кубаевский Алексей Андреевич

студент

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

г. Челябинск, Челябинская область

Исаева Анна Сергеевна

студентка

ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет»

г. Челябинск, Челябинская область

Гордеев Алексей Сергеевич

лаборант-исследователь, ассистент

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

г. Челябинск, Челябинская область

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Аннотация: в данной статье приводится разработка и моделирование системы электронной курсовой устойчивости на основе дифференциального торможения с ПИ-регулятором по ошибке угловой скорости.

Ключевые слова: электронная курсовая устойчивость, грузовой автомобиль, моделирование, дифференциальное торможение, ошибка угловой скорости.

В настоящий момент электронная курсовая устойчивость (ЭКУ) устанавливается практически на всех легковых автомобилях. Но самую большую опасность на дорогах представляют грузовые автомобили. Опираясь на раннее написанную публикацию [1], в этой статье приведено моделирование и результаты работы системы ЭКУ грузового автомобиля при проведении маневра «крюк».

$$\dot{\psi}_{\text{ж}} = \frac{V_x \delta (l_2 C_{\alpha_3} C_{\alpha_1} + l_1 C_{\alpha_2} C_{\alpha_1})}{l_2^2 C_{\alpha_3} C_{\alpha_1} + l_1^2 C_{\alpha_1} C_{\alpha_2} + (c - b)^2 C_{\alpha_2} C_{\alpha_3} + m V_x^2 (b C_{\alpha_2} + c C_{\alpha_3} - a C_{\alpha_1})}, \quad (1)$$

где $\psi_{\text{ж}}$ – угол рыскания автомобиля относительно центра масс, рад.

l_1 – расстояние между первой и второй осью колес, м;

l_2 – расстояние между первой и третьей осью колес, м;

δ – угол поворота передних колес, рад;

V_x – продольная скорость автомобиля относительно центра масс, м/с;

m – масса грузового автомобиля относительно центра масс, кг;

a, b, c – расстояния между осями колес и центром масс, м;

$C_{\alpha_1}, C_{\alpha_2}, C_{\alpha_3}$ – коэффициенты жесткости при прохождении поворотов, $\frac{\text{Н}}{\text{рад}}$.

Для моделирования нашей системы необходимо рассчитать в числовом виде полученные коэффициенты. Данные параметры были взяты для транспортного средства «КАМАЗ» модели 65222. При их подстановке получили:

$$\dot{\psi}_{\text{ж}} = \frac{V_x \delta}{5.1706 + 0.00542 V_x^2}, \quad (2)$$

Максимальное значение расчетной угловой скорости равно [2]:

$$\dot{\psi}_{\text{max}} = \frac{0.85 \mu g}{V_x}, \quad (3)$$

Тогда расчетная угловая скорость и угол скольжения равны:

$$\dot{\psi}_p = \begin{cases} \dot{\psi}_{\text{ж}}, & |\dot{\psi}_{\text{ж}}| \leq \dot{\psi}_{\text{max}} \\ \dot{\psi}_{\text{max}} \text{sign}(\dot{\psi}_{\text{ж}}), & |\dot{\psi}_{\text{ж}}| > \dot{\psi}_{\text{max}} \end{cases}, \quad (4)$$

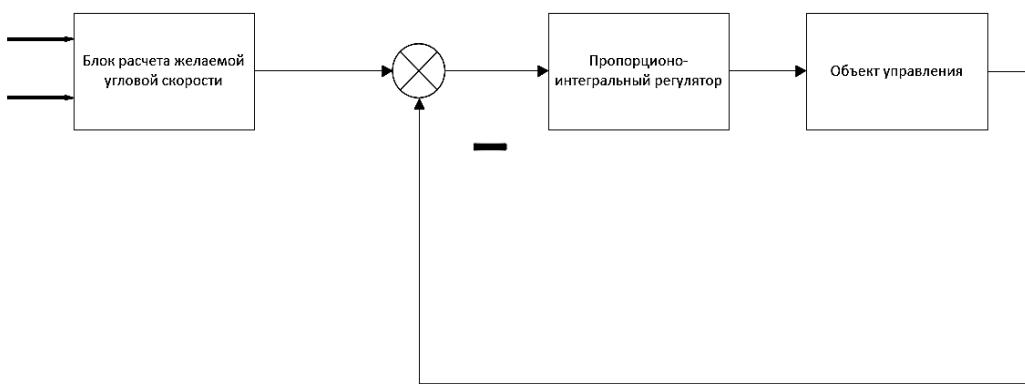


Рис. 1. Структурная схема управления с помощью системы курсовой устойчивости с обратной связью по угловой скорости

Где $\varepsilon = \dot{\psi}_p - \dot{\psi}$ – ошибка между действительной и желаемой угловой скоростью;
 $u = k_p \varepsilon + \frac{k_i}{s} \varepsilon$ – управляющее действие, регулирующее подачу давление на тормозной цилиндр; k_p , k_i – коэффициенты пропорционального и интегрального регуляторов.

На рисунке 1 представлена схема реализации системы курсовой устойчивости на основе управления дифференциальным торможением по ошибке угловой скорости в среде программного пакета симуляционного моделирования Simulink. Блок грузового трехосного транспортного средства представляет собой «черный ящик», в котором установлено огромное количество дифференциальных уравнений, которые полностью описывают процесс управления автомобилем.

На выходе блока, задающего модель автомобиля, находится угол поворота рулевого колеса, поперечная и действительная угловая скорость автомобиля. По этим данным можно строить управление, зная величину ошибки по угловой скорости. А далее идет необходимый контроллер, выходы которого идут на тормозную модель грузового трехосного автомобиля. На него подается давление клапана и оно, преобразуясь на четыре колеса задних осей, обеспечивает курсовую устойчивость транспортного средства.

Данный метод позволяет минимизировать ошибку по угловой скорости. На рисунке 2 представлена функциональная схема.

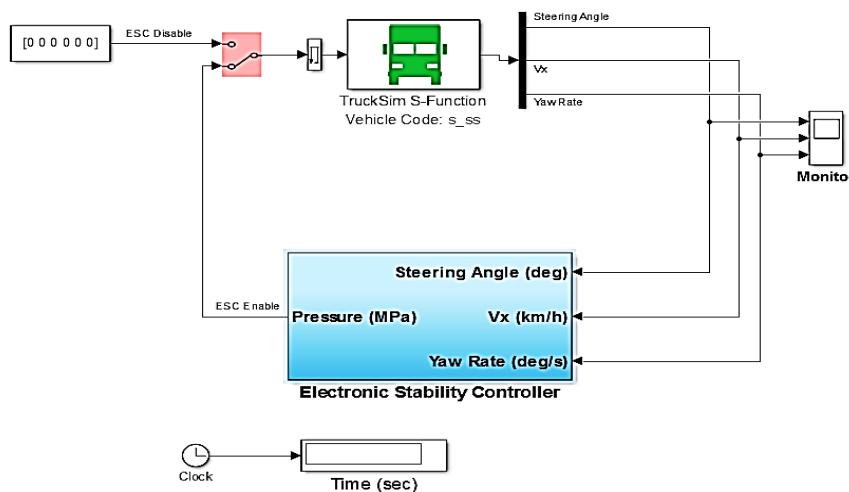


Рис. 2. Схема реализации системы курсовой устойчивости на основе управления дифференциальным торможением по ошибке угловой скорости в среде программного пакета симуляционного моделирования Simulink

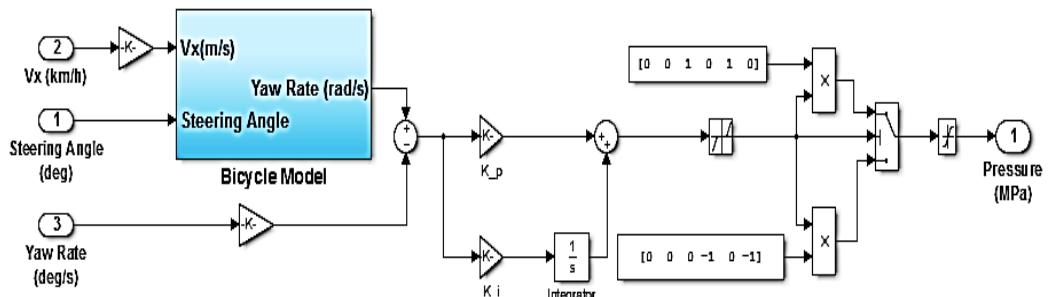


Рис. 3. Блок «Electronic Stability Controller» в среде программного пакета симуляционного моделирования Simulink

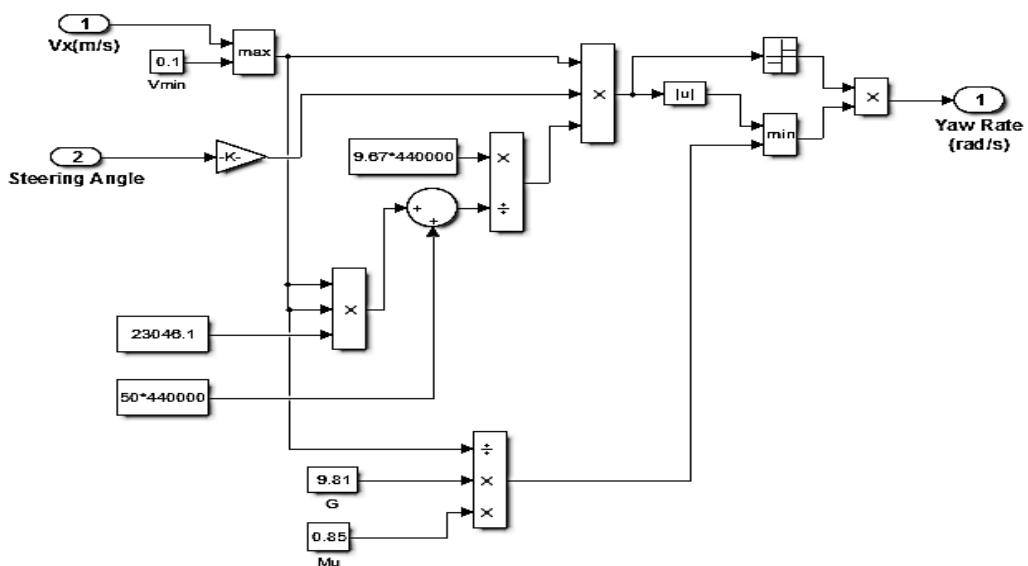


Рис. 4. Блок «Bicycle Model» в среде программного пакета симуляционного моделирования Simulink

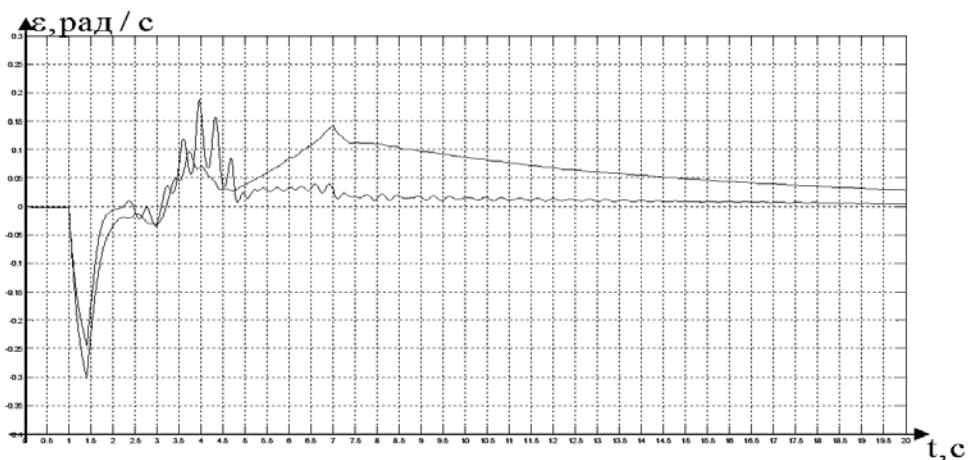


Рис. 5. Зависимость ошибки угловой скорости от времени
при проведении маневра «крюк»

Зеленый цвет линии – ошибка с выключенной системой курсовой устойчивости.

Синий цвет линии – ошибка с включенной системой курсовой устойчивости.

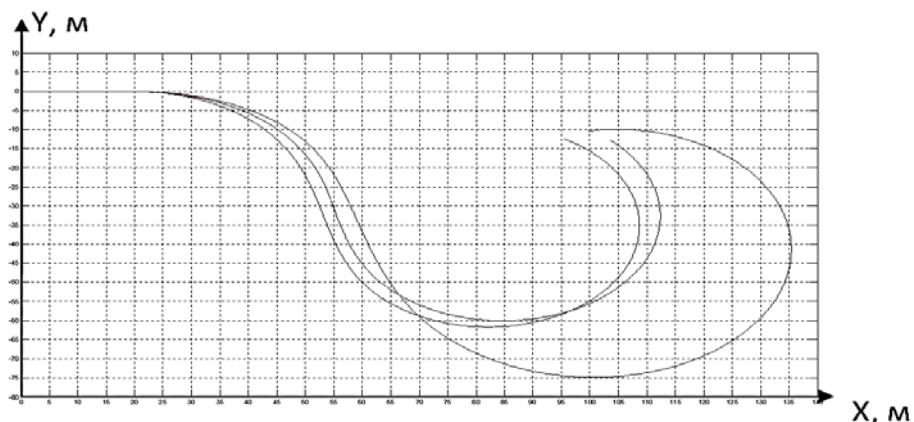


Рис. 6. График траектории движения при проведении маневра «крюк»

Зеленый цвет линии – траектория с включенной системой курсовой устойчивости

Красный цвет линии – траектория с выключенной системой курсовой устойчивости.

Синий цвет линии – желаемая траектория.

Список литературы

1. Просоедов Р.А., Коновалов В.В., Гордеев А.С. Математическое описание системы электронной курсовой устойчивости грузового автомобиля // VI Международная научно-практическая конференция «Актуальные направления научных исследований: от теории к практике». – 2015. – №4 (6). – С. 197–199.
2. Hossam R. Torque Control Strategy for Off-Road Vehicle Mobility / R. Hos-sam. – Faculty of Engineering and Applied Science University of Ontario Institute of Technology Oshawa, Ontario, Canada, 2014.
3. Rajesh R. Vehicle Dynamics and Control / R. Rajesh; University of Minne-sota. – USA. – 2006.