

**Д.М. КЛЕЦ**, к. т. н., доц., докторант каф. технологии машиностроения и ремонта машин, ХНАДУ, Харьков

### ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАНЕВРЕННОСТИ АВТОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕГО ДВИЖЕНИЯ

Розроблено імітаційну візуальну модель автомобіля, що враховує параметри системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище» і дозволяє виконувати оцінку показників його керованості, стійкості та динамічності в середовищі Simulink.

**Ключові слова:** маневреність, автомобіль, імітаційне моделювання, комп'ютерна модель

Разработана имитационная визуальная модель автомобиля, учитывающая параметры системы «водитель – автомобиль – дорожная среда» и позволяющая выполнять оценку показателей его управляемости, устойчивости и динамичности в среде Simulink.

**Ключевые слова:** маневренность, автомобиль, имитационное моделирование, компьютерная модель

It's developed visual simulation vehicle model, taking into account the parameters of the "driver-vehicle-road environment" that allows to estimate its controllability, stability and dynamics in Simulink.

**Keywords:** manoeuvrability, automobile, imitation modeling, computer model

**Постановка проблемы.** При разработке новых, а также квалиметрической оценке и модернизации существующих автомобилей актуальным является вопрос выбора корректных математических моделей оценки показателей их маневренности. Прогнозировать поведение автомобиля при влиянии на него различных факторов внешней среды и управляющих воздействий водителя удобно с помощью имитационного визуального моделирования в специализированном программном обеспечении на электронных вычислительных машинах. Это позволяет значительно сэкономить время и средства, которые были бы потрачены на проведение дорожного эксперимента, изучить быстротекущие процессы в замедленном режиме, а также повысить безопасность исследований. При имитационном моделировании исследуемый автомобиль заменяется компьютерной моделью, с достаточной точностью описывающей состояние реальной системы и позволяющей учитывать влияние на нее возмущающих воздействий.

**Анализ литературы.** Вопросам исследования свойств маневренности колесных машин посвящены работы значительного числа отечественных и зарубежных авторов [1-6]. В работе [5] в качестве критерия устойчивости движения колесной машины предложен коэффициент устойчивости. Указанный коэффициент равен отношению момента стабилизирующего к возмущающему моменту и при движении по прямой определяется из следующего соотношения

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta_2}}{R_{\delta_1}}, \quad (1)$$

где  $R_{\delta_1}, R_{\delta_2}$  – боковые реакции дороги на передней и задней осях автомобиля;  $a, b$  – расстояние от проекции центра масс автомобиля на горизонтальной плоскости до передней и задней оси автомобиля.

При  $K_{уст} > 1$  движение автомобиля устойчиво, при  $K_{уст} < 1$  – неустойчиво, при  $K_{уст} = 1$  автомобиль находится на грани выхода из зоны устойчивого движения.

Коэффициент управляемости двухосной машины [5] определяется при движении на повороте из следующего соотношения

$$K_{упр} = \frac{R_{k_1}}{R_{\delta_2}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \sin \alpha + \frac{R_{\delta_1}}{R_{\delta_2}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $R_{k_1}$  – касательная реакция на переднем направляющем колесе, а  $\alpha$  – угол поворота направляющих колес.

Коэффициент динамичности автомобиля определяется из зависимости [5]

$$K_{дин} = \frac{N_e \cdot \eta_{мп} \cdot (1 - S_x)}{m_a \cdot g \cdot V_a \cdot \left( f + \frac{k \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot V_a^2 \right)}. \quad (3)$$

где  $V_a$  – линейная скорость автомобиля;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $m_a$  – масса автомобиля;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $k \cdot F$  – фактор обтекаемости;  $N_e$  – эффективная мощность двигателя;  $\eta_{мп}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии;  $S_x$  – относительное буксование ведущих колес.

Наиболее мощным и гибким инструментом для имитационного визуального моделирования динамики автомобиля является MatLab / Simulink. Таким образом, представляет интерес моделирование движения автомобиля, оценка показателей его маневренности и эффективности работы систем безопасности с помощью указанного пакета.

*Цель статьи* – оценка показателей управляемости, устойчивости и динамичности автомобиля с помощью его имитационной визуальной модели, учитывающей параметры системы «водитель-автомобиль-дорожная среда».

**Оценка показателей устойчивости и управляемости автомобиля при визуальном моделировании его динамики.** Модель визуализации динамики автомобиля построена на основе Simulink-модели Vehicle Dynamics Visualization with Graphs [7]. Структура подсистемы Coordinate Transformations приведена на рис. 1. На рис. 2 приведена зависимость продольных  $R_x$ , боковых  $R_y$  и нормальных  $R_z$  реакций, действующих на колеса исследуемого автомобиля, от времени его движения.

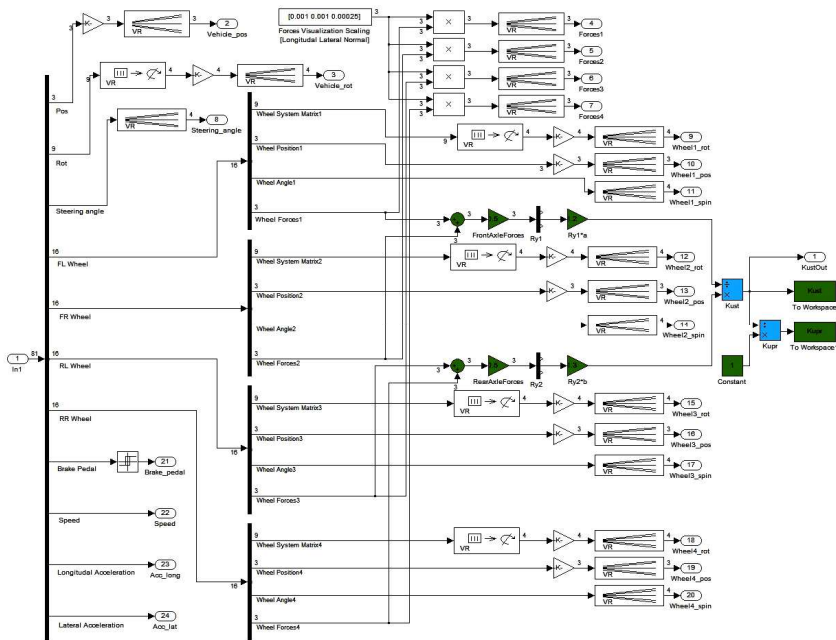


Рисунок 1 – Структура подсистемы Coordinate Transformations

Подсистема Coordinate Transformations содержит инструменты по преобразованию величин ускорений, линейной и угловой скоростей автомобиля, реакций на колесах, углов поворота рулевого и направляющих колес в сигналы инструментов Simulink. Блоки Kust и Kurp позволяют экспортировать в рабочее пространство Matlab определенные с помощью указанной модели величины коэффициентов устойчивости и управляемости.

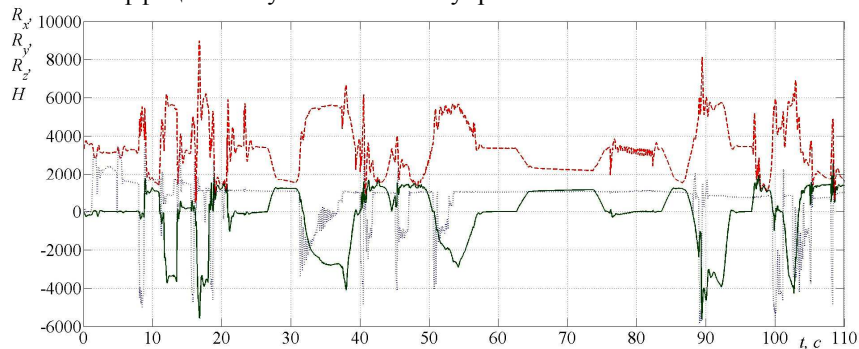


Рисунок 2 – Зависимость продольных, боковых и нормальных реакций, действующих на колеса исследуемого автомобиля, от времени его движения:  $\cdots R_x$ ,  $— R_y$ ,  $- - R_z$

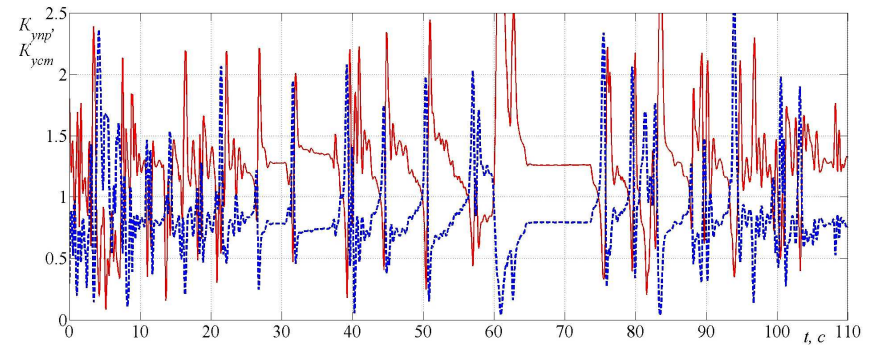


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента управляемости и коэффициента устойчивости от времени движения исследуемого автомобиля:  $— K_{упр}$ ;  $- - K_{уст}$

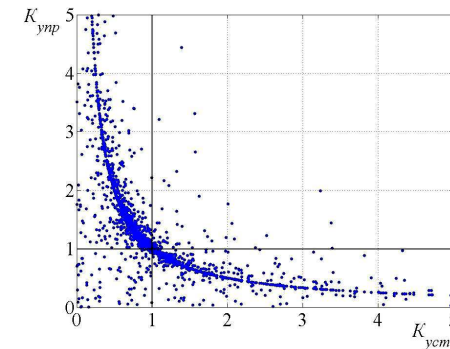


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента управляемости от коэффициента устойчивости

оценку показателей его маневренности с помощью MatLab/Simulink.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента управляемости  $K_{упр}$  и коэффициента устойчивости  $K_{уст}$  от времени движения исследуемого автомобиля, а на рис. 4 – зависимость  $K_{упр} = f(K_{уст})$ . На рис. 5 показаны 3D модели исследуемой трассы и автомобиля с позиции Simulink Controlled Viewport [8].

Таким образом, разработанная модель позволяет прогнозировать параметры движения автомобиля и выполнять

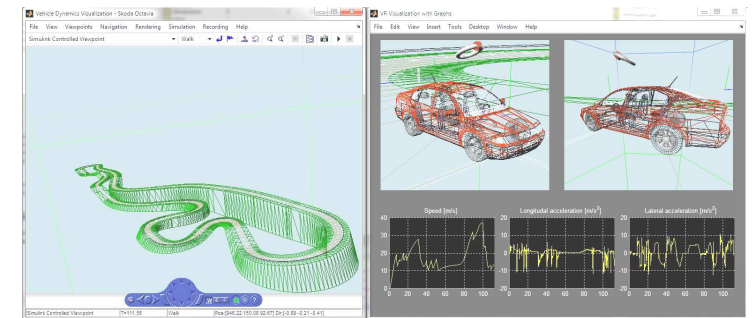


Рисунок 5 – 3D модель исследуемой трассы и автомобиля

**Выводы.** Разработанная имитационная визуальная модель автомобиля, учи-

тывающая параметры системы «водитель – автомобиль – дорожная среда» позволяет выполнять оценку показателей его управляемости, устойчивости, динамичности в среде Simulink и значительно сэкономить время и средства, а также повысить безопасность исследований.

При выходе из маневра “переставка” при заданных условиях движения исследуемым автомобилем с отключенной ESP возникают угловые ускорения, достигающие  $0,5 \text{ с}^{-1}$ , что свидетельствует о начале заноса. Угловые ускорения автомобиля со включенной ESP при аналогичных условиях не превышают  $0,05 \text{ с}^{-1}$ .

**Список литературы. 1.** Бобошко А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.02 / ХНАДУ. – Харьков, 2002. – 19 с. **2.** Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я. Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с. **3.** Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М: Машиностроение, 1971. – 416 с. **4.** Маневренность и тормозные свойства колесных машин / М. А. Подригало, В.П. Волков, В.И. Курчатый, А.А. Бобошко / Под ред. М.А.Подригало. - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с. **5.** Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динамика автомобиля. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с. **6.** Electronic Stability Control Systems : Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 126. – Office of Regulatory Analysis and Evaluation, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p. **7.** Vehicle Dynamics Visualization with Graphs. The MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.htm> **8.** Vehicle Dynamics Visualization – Simulation of Multiple Objects. The MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr\\_octavia\\_2cars.html](http://www.mathworks.com/products/3d-animation/examples.html?file=/products/demos/shipping/sl3d/vr_octavia_2cars.html).

*Поступила в редакцию 08.04.2013*