

# Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.33

DOI 10.18698/0536-1044-2017-7-34-40

## Алгоритм определения фактической скорости для обеспечения работы автоматизированной системы управления движением колесной машины

**Е.С. Лобусов, М.М. Жилейкин**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## An Algorithm for Determining the Actual Speed of a Wheeled Vehicle to Ensure the Operation of an Automated Control System

**E.S. Lobusov, M.M. Zhileykin**BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1e-mail: [evgeny.lobusov@yandex.ru](mailto:evgeny.lobusov@yandex.ru), [jileykin\\_m@mail.ru](mailto:jileykin_m@mail.ru)

Рассмотрены вопросы построения автоматизированной системы управления движением колесной машины, связанные с получением надежной информации о количественных параметрах ее движения, а также с прогнозированием и диагностированием нештатных ситуаций (опрокидыванием, скольжением и др.). Существует много публикаций, в основном зарубежных авторов, посвященных разработке таких систем и их практической реализации. Однако используемые при этом модели взаимодействия колесной машины с окружающей средой являются достаточно сложными, так как содержат значительное число экспериментальных параметров, имеющих большую степень неопределенности. Рассмотрено плоское движение колесной машины, оборудованной типовым набором измерительных средств: акселерометрами, датчиками угловой скорости и угла отклонения руля. В качестве показателя, характеризующего движение колесной машины, использована разность между теоретической скоростью движения центра масс и соответствующей реальной скоростью колесной машины. Первая из скоростей определяется по геометрическим параметрам транспортного средства и углам отклонения колес, вторая требует измерения реальной скорости движения. Предложен алгоритм для оценки реальной скорости движения колесной машины по показаниям акселерометров, точность функционирования которого обеспечивается периодическими остановками транспортного средства.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, алгоритм определения фактической скорости, колесная машина, плоское движение



This paper discusses issues related to designing an automated control system for a wheeled vehicle that entails obtaining reliable information about quantitative parameters of movement as well as predicting and diagnosing emergency situations (roll-over, skidding, etc.)

There is extensive literature on the topic, mainly of foreign origin, that details the development and implementation of such systems. However, the models describing the interaction of the wheeled vehicle with the environment are rather complex and contain a large number of experimental parameters that have a high degree of uncertainty. Planar movement of the wheeled vehicle equipped with a standard set of instruments (accelerometers, sensors measuring angular velocity and steering wheel deviation angle) is considered. The difference between the theoretical speed of movement of the center of mass and a corresponding real speed of the vehicle is used as an indicator characterizing the movement of the wheeled vehicle. The former is determined by the geometrical parameters of the vehicle and the angles of wheel deviation, the latter requires measuring the real speed. It is proposed to implement an algorithm that estimates the actual speed based on the readings of accelerometers, the accuracy of which is ensured by periodic stopping of the vehicle.

**Keywords:** automated control system, algorithm for determining the actual speed, wheeled vehicle, planar movement

При разработке автоматизированной системы управления движением колесной машины (КМ), значительно облегчающей работу водителя, необходимо обеспечить получение достоверной информации о количественных значениях параметров, характеризующих ее движение. Знание этих параметров позволяет оценить, насколько они соответствуют показателям, заданным водителем, а также прогнозировать момент наступления нештатных ситуаций и диагностировать их вид (например, занос передних или задних осей, опасность опрокидывания и др.).

Существует много работ (преимущественно зарубежных), посвященных построению автоматизированных систем вождения и их возможным реализациям [1–8]. Однако создаваемые при этом модели взаимодействия КМ с внешней средой включают в себя достаточно большое количество экспериментальных данных, которые не всегда доступны или достоверны.

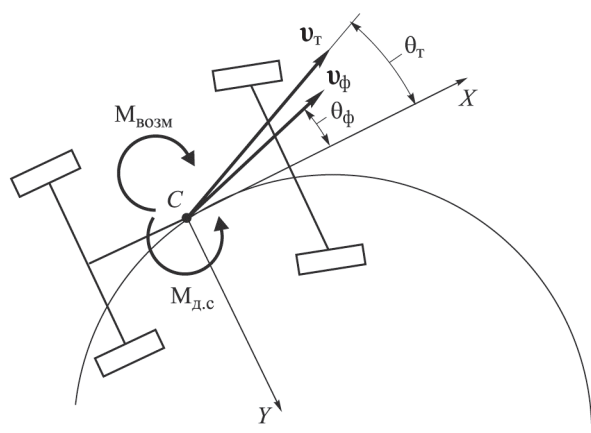


Рис. 1. Схема формирования углов  $\theta_T$  и  $\theta_\phi$  относительно продольной оси КМ: С — центр масс;  $M_{\text{возм}}$  и  $M_{\text{д.с}}$  — возмущающий и стабилизирующий динамические моменты

Рассмотрим этот вопрос на примере плоского движения КМ с использованием типового набора измерителей: акселерометров, датчиков угловой скорости и угла отклонения руля. В качестве показателя, характеризующего движение КМ, выберем широко применяемый на практике угол отклонения вектора фактической скорости  $v_\phi$  центра масс КМ от вектора  $v_T$  его теоретической (кинематической) скорости, равный  $\theta_T - \theta_\phi$  (рис. 1) [9]. Если значение угла  $\theta_T$  достаточно просто определить, зная геометрические параметры шасси и закон поворота управляемых колес, то для вычисления  $\theta_\phi$  необходимо найти текущую скорость КМ. На рис. 1 показано, как формируются углы  $\theta_T$  и  $\theta_\phi$  относительно продольной оси КМ в плоскости движения.

Применение такого показателя существенно упрощает оценку нештатных ситуаций [10].

Цель работы — разработка алгоритма вычислений, позволяющего получать дополнительную информацию о характере движения КМ, точность функционирования которого будет поддерживаться естественными в процессе перемещения остановками (без установки на КМ каких-либо дополнительных измерителей).

Введение такого алгоритма обеспечивает реализацию простейшей бортовой навигационной системы, а также дальнейшую возможность компенсации неопределенностей благодаря обратным связям, синтезируемым из условий получения хорошего качества движения.

**Уравнения движения центра масс КМ.** Уравнения для ускорений центра масс КМ в связанной системе координат (ССК)  $xyz$  (в базисе  $B$ ) и неподвижной относительно Земли начальной системе координат (НСК)  $XY$  (в базисе  $S$ ) со-

ставляются без учета вращения Земли (т. е. ее угловая скорость  $\omega_r^S = 0$ ):

$$\frac{d\mathbf{v}^S}{dt} \Big|_B = \frac{d\mathbf{v}^B}{dt} + \omega^B \times \mathbf{v}^B = \mathbf{a}^B + \mathbf{g}_T^B \rightarrow$$

$$\rightarrow \mathbf{a}^B = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} - \mathbf{B}_S \mathbf{g}_T^S, \quad (1)$$

где  $\mathbf{v}^S$  — вектор скорости в НСК;  $\mathbf{v}^B$  — вектор скорости в ССК,  $\mathbf{v}^B \equiv [v_x, v_y, v_z]^T$ ;  $\omega^B = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$  — вектор угловой скорости КМ в ССК;  $\mathbf{a}^B$  — вектор кажущегося ускорения в ССК,  $\mathbf{a}^B = [a_x^B, a_y^B, a_z^B]^T$ ;  $\mathbf{g}_T^B$  — вектор ускорения силы тяжести в ССК;  $\mathbf{B}_S$  — матричный оператор перехода от базиса  $\mathbf{S}$  к базису  $\mathbf{B}$ ;  $\mathbf{g}_T^S$  — вектор ускорения силы тяжести в НСК,  $\mathbf{g}_T^S = [0, 0, g]^T$ .

Кажущееся ускорение определяется действующими на КМ активными силами по формуле

$$\mathbf{a}^B = \frac{(\Sigma \mathbf{F} + \Sigma \mathbf{P})}{M},$$

где  $\Sigma \mathbf{F}$  — суммарный вектор сил внешнего воздействия на КМ;  $\Sigma \mathbf{P}$  — суммарный вектор сил взаимодействия колес с дорожным покрытием;  $M$  — масса КМ.

Для плоского движения выражение (1) упрощается:

$$\mathbf{a}^B \equiv \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & 0 \\ \omega_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Кинематические уравнения углового движения имеют следующий вид:

$$\dot{\mathbf{B}}_S = -\dot{\omega}_r^B \mathbf{B}_S, \quad (3)$$

где  $\mathbf{B}_S$  — матричный оператор, представляющий угловое положение КМ;  $\dot{\omega}_r^B$  — кососимметрическая матрица угловых скоростей КМ.

В ряде случаев можно использовать кинематические уравнения углового движения в кватернионной форме

$$2\dot{\mathbf{B}}_S = \mathbf{B}_S \circ \omega_r^B,$$

где  $\circ$  — символ кватернионного умножения;  $\mathbf{B}_S$  и  $\omega_r^B$  — матричный оператор и угловая скорость КМ в кватернионном представлении.

Если выразить угловую скорость через углы и угловые скорости последовательных поворотов по осям ССК  $\psi$ - $\theta$ - $\gamma$

$$\omega_r^B \equiv [-\dot{\psi} s \theta + \dot{\gamma}, \dot{\psi} c \theta s \gamma + \dot{\theta} c \gamma, \dot{\psi} c \theta c \gamma - \dot{\theta} s \gamma]^T$$

(без учета угловой скорости Земли), то кинематическое уравнение (3) принимает вид

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s\theta \\ 0 & c\gamma & s\gamma\theta \\ 0 & -s\gamma & c\gamma c\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \frac{1}{c\theta} \begin{bmatrix} c\theta & s\gamma s\theta & s\theta c\gamma \\ 0 & c\gamma c\theta & -s\gamma c\theta \\ 0 & s\gamma & c\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix},$$

а соответствующие уравнения для ускорений —

$$\mathbf{a}^B = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 & -(\dot{\psi} c \theta c \gamma - \dot{\theta} s \gamma) & \dot{\psi} c \theta s \gamma + \dot{\theta} c \gamma \\ \dot{\psi} c \theta c \gamma - \dot{\theta} s \gamma & 0 & -(-\dot{\psi} s \theta + \dot{\gamma}) \\ -(\dot{\psi} c \theta s \gamma + \dot{\theta} c \gamma) & -\dot{\psi} s \theta + \dot{\gamma} & 0 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -s\theta \\ c\theta s\gamma \\ c\theta c\gamma \end{bmatrix} \mathbf{g}_T.$$

В упрощенном виде для плоского движения можно принять следующее выражение для угловой скорости:

$$\omega_r^B \equiv [0, 0, \omega_z]^T.$$

**Алгоритм интегрирования уравнений движения центра масс КМ.** Воспользуемся упрощенным выражением (2) для движения КМ в горизонтальной плоскости. Поскольку измеряемыми переменными являются горизонтальные ускорения  $a_x^B$ ,  $a_y^B$  и вертикальная угловая скорость  $\omega_z \approx \dot{\psi}$ , в идеальном случае (при отсутствии собственных погрешностей измерителей) можно оценить горизонтальные скорости в ССК, выполняя интегрирование уравнений (2) с высокой степенью точности.

Перейдем к матричному представлению

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\psi} \\ -\dot{\psi} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_x^B \\ a_y^B \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u}; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\psi} \\ -\dot{\psi} & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \mathbf{I}_2;$$

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} a_x^B \\ a_y^B \end{bmatrix}; \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}.$$

Интегрирование целесообразно провести с использованием неявного метода первого по-

рядка и правила трапеций. Неявный метод обеспечивает как вычислительную устойчивость, так и хорошую точность при применении в реальных условиях. Соответствующее разностное уравнение имеет вид

$$\mathbf{x}_i = \left( \mathbf{I}_2 - \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_i \right)^{-1} \left( \mathbf{I}_2 + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_{i-1} \right) \mathbf{x}_{i-1} + \left( \mathbf{I}_2 - \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_i \right)^{-1} \mathbf{u}_i \Delta t, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

где вектор  $\mathbf{u}_i$  считается постоянным на кванте времени  $\Delta t$ .

Отсюда

$$\left( \mathbf{I}_2 + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_{i-1} \right) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\Delta t}{2} \dot{\psi}_{i-1} \\ -\frac{\Delta t}{2} \dot{\psi}_{i-1} & 1 \end{bmatrix};$$

$$\left( \mathbf{I}_2 - \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_i \right)^{-1} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\Delta t}{2} \dot{\psi}_i \right)^2} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\Delta t}{2} \dot{\psi}_i \\ -\frac{\Delta t}{2} \dot{\psi}_i & 1 \end{bmatrix}.$$

Однако при продолжительной работе алгоритма с использованием данных реальных измерителей происходит потеря точности. Чтобы сохранять точность в процессе работы, следует периодически корректировать вычисления. Наилучший способ коррекции связан с остановкой КМ и установкой на интеграторах нулевых значений скоростей.

**Результаты моделирования алгоритма динамики.** На рис. 2 приведены результаты тестирования алгоритма (4) при начальных условиях

$v_x = 0, v_y = 0, \dot{\psi} = 0,1$  рад,  $\mathbf{a}^B = [0,1; 0]$  м/с, которые показали практически полное совпадение с аналитическим решением.

**Алгоритм интегрирования кинематических уравнений углового движения.** Для исходных уравнений в форме (3) при использовании неявного метода интегрирования первого порядка соответствующее разностное уравнение записывается в виде

$$\dot{\mathbf{B}}_S = -\dot{\omega}_r^B \mathbf{B}_S \rightarrow \mathbf{B}_S|_i = \left( \mathbf{I} - \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_i \right)^{-1} \left( \mathbf{I} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{A}_i \right) \mathbf{B}_S|_{i-1}, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

К сожалению, корректировать кинематические уравнения значительно сложнее, чем уравнения динамики, так как это требует знания эталонных значений углового положения на плоскости в некоторый момент времени. По этой причине использование алгоритмов кинематики в разомкнутом виде без коррекции является проблематичным при продолжительном функционировании.

**Алгоритм оценки углового положения вектора фактической скорости.** Знание оценок проекций вектора линейной скорости  $v_x$  и  $v_y$  в ССК позволяет вычислить угловое положение вектора скорости относительно продольной оси КМ по выражению

$$\theta_\phi = \arcsin \left( \frac{v_y}{\sqrt{v_y^2 + v_x^2}} \right).$$

**Алгоритм построения траектории.** Траектория движения КМ на плоскости представляется

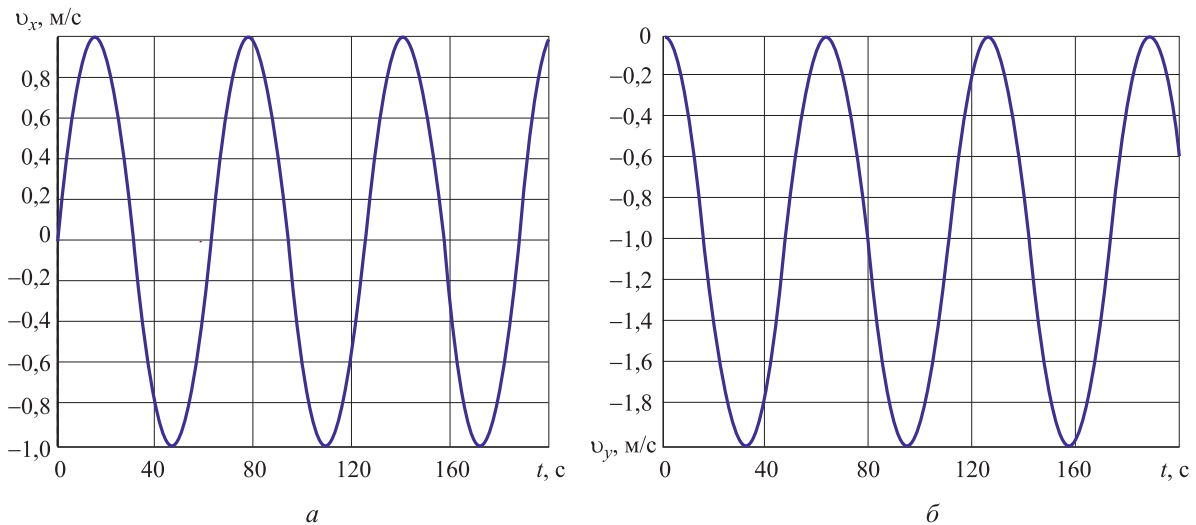


Рис. 2. Зависимости скоростей  $v_x$  (а) и  $v_y$  (б) от времени  $t$

в НСК, для чего выполняется преобразование данных из ССК в НСК:

$$\mathbf{v}^S = [v_x^S, v_y^S]^T = \mathbf{B}^S [v_x^B, v_y^B]^T.$$

Затем преобразованные к базису  $\mathbf{S}$  скорости  $\mathbf{v}^S$  интегрируются для получения вектора положения КМ на плоскости  $\mathbf{r} = [r_x^S, r_y^S]^T$ :

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_{i-1} + \Delta t \mathbf{v}^S, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Процедура интегрирования также требует коррекции от внешнего эталонного источника.

Одновременно определяется пройденный путь

$$s_i = s_{i-1} + \Delta t |\mathbf{v}_i^S|.$$

**Построение траектории.** Траектория движения КМ строится с использованием НСК  $XY$  и ССК  $xuz$ . На рис. 3 параметр  $\mathbf{R}_0$  определяет положение центра масс КМ, а угол  $\psi$  — положение ССК на плоскости.

**Исследование работоспособности предложенного алгоритма методами имитационного моделирования.** Для подтверждения работоспособности алгоритма диагностирования состояния движения КМ проведены исследования с помощью имитационного математического моделирования. Особенности математической модели движения КМ рассмотрены в работе [11].

Выполнено численное моделирование движения КМ с колесной формулой  $4 \times 2$  (с передней и задней ведущими осями отдельно) пол-

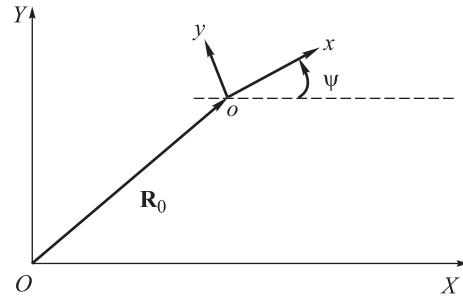


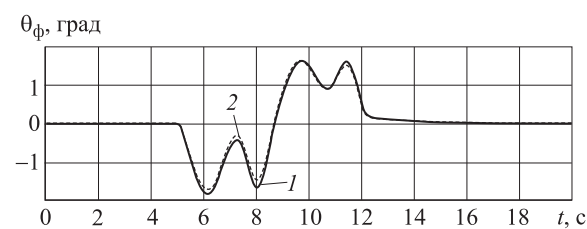
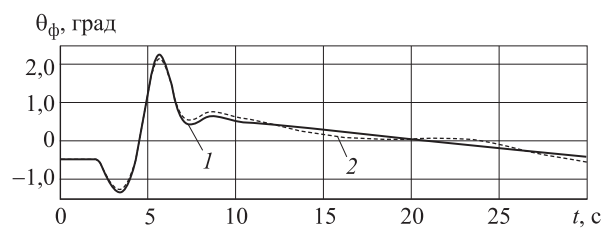
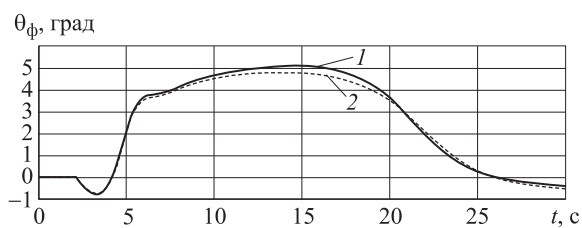
Рис. 3. Схема определения положения КМ на плоскости

ной массой 1 700 кг на опорном основании типа «лед со снегом» (с коэффициентом взаимодействия движителя с опорным основанием при полном буксовании  $\mu_{\text{max}} = 0,35$ ). Следует отметить, что под термином «опорное основание» понимается только твердая недеформируемая опорная поверхность. Передние колеса автомобиля — управляемые, начальная скорость движения КМ — 20 км/ч. Движение КМ исследовано при постоянном уровне воздействия на педаль акселератора; угол поворота рулевого колеса изменялся от нуля до заданного значения в течение первой секунды и далее оставался неизменным.

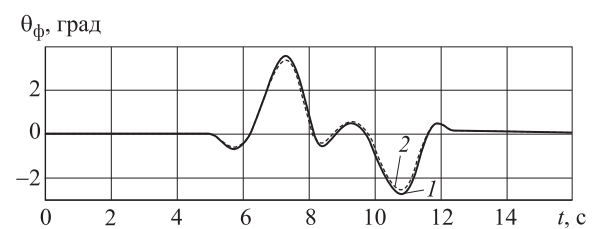
Проведено моделирование двух маневров:

- вход в поворот и движение в повороте с фиксированным радиусом ( $R = 6$  м);
- изменение полосы движения (переставка).

Анализ изменения во времени угла  $\theta_\phi$  по сравнению с его эталонным значением при движении заднеприводной (рис. 4, слева) и пе-



а



б

Рис. 4. Зависимости эталонного (1) и расчетного (2) углов  $\theta_\phi$  от времени  $t$  при совершении заднеприводной (слева) и переднеприводной (справа) КМ маневров на опорном основании «лед со снегом»: а — «поворот»; б — «переставка»

реднеприводной (рис. 4, справа) КМ с совершенным маневров «поворот» и «переставка» показывает, что этот угол определяется с высокой точностью.

## Выводы

1. Предложено выполнять обработку данных КМ, оборудованной стандартным набором из-

мерителей, с помощью алгоритмов, позволяющих оценивать параметры движения КМ (в первую очередь скорость).

2. Результаты сравнительного моделирования показали работоспособность рассмотренных алгоритмов.

3. При практическом применении алгоритмов необходимо предусматривать их текущую коррекцию.

## Литература

- [1] Ungoren A.Y., Peng H., Tseng H.E. A study on lateral speed estimation methods. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 2004, vol. 2, no. 1/2, pp.126–144.
- [2] Karogal I., Ayalew B. Independent Torque Distribution Strategies for Vehicle Stability Control. *SAE Technical Papers*, 2009, doi: 10.4271/2009-01-0456.
- [3] Hiemer M., Von Vietinghoff A., Kiencke U., Matsunaga T. Determination of the vehicle body slip angle with non-linear observer strategies. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2005, paper no. 2005-01-0400.
- [4] Best M.C., Gordon T.J., Dixon P.J. An extended adaptive Kalman filter for real-time state estimation of vehicle handling dynamics. *Vehicle System Dynamics*, 2000, vol. 34, no. 1, pp. 57–75.
- [5] Klier W., Reim A., Stapel D. Robust estimation of vehicle sideslip angle—an approach w/o vehicle and tire models. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2008, paper no. 2008-01-0582.
- [6] Sentouh C., Sebsadji Y., Mammar S., Glaser S. Road bank angle and faults estimation using unknown input proportional-integral observer. *Proc. European Control Conference*, Greece, Kos, 2007, pp. 5131–5138.
- [7] Imsland L., Grip H.F., Johansen T.A., Fossen T.I., Kalkkuhl J.C., Suissa A. Nonlinear observer for vehicle velocity with friction and road bank angle adaptation—validation and comparison with an extended Kalman filter. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2007, paper no. 2007-01-0808.
- [8] Imsland L., Johansen T.A., Grip H.F., Fossen T.I. On non-linear unknown input observers—applied to lateral vehicle velocity estimation on banked roads. *International Journal of Control*, 2007, vol. 80, no. 11, pp. 1741–1750.
- [9] Жилейкин М.М., Чулюкин А.О. Алгоритм работы системы динамической стабилизации для автомобиля 4×4 с подключаемой задней осью. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 4. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/704685.html>, doi: 10.7463/0414.0704685 (дата обращения 10 марта 2017).
- [10] Ryu J., Gerdes J.C. Estimation of vehicle roll and road bank angle. *Proceedings of the American Control Conference*, Boston, MA, United States, 2004, vol. 3, pp. 2110–2115.
- [11] Жилейкин М.М. *Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 238 с.

## References

- [1] Ungoren A.Y., Peng H., Tseng H.E. A study on lateral speed estimation methods. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 2004, vol. 2, no. 1/2, pp.126–144.
- [2] Karogal I., Ayalew B. Independent Torque Distribution Strategies for Vehicle Stability Control. *SAE Technical Papers*, 2009, doi: 10.4271/2009-01-0456.
- [3] Hiemer M., Von Vietinghoff A., Kiencke U., Matsunaga T. Determination of the vehicle body slip angle with non-linear observer strategies. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2005, paper no. 2005-01-0400.

- [4] Best M.C., Gordon T.J., Dixon P.J. An extended adaptive Kalman filter for real-time state estimation of vehicle handling dynamics. *Vehicle System Dynamics*, 2000, vol. 34, no. 1, pp. 57–75.
- [5] Klier W., Reim A., Stapel D. Robust estimation of vehicle sideslip angle—an approach w/o vehicle and tire models. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2008, paper no. 2008-01-0582.
- [6] Sentouh C., Sebsadji Y., Mammari S., Glaser S. Road bank angle and faults estimation using unknown input proportional-integral observer. *Proc. Eur. Contr. Conf.*, Greece, Kos, 2007, pp. 5131–5138.
- [7] Imsland L., Grip H.F., Johansen T.A., Fossen T.I., Kalkkuhl J.C., Suissa A. Nonlinear observer for vehicle velocity with friction and road bank angle adaptation—validation and comparison with an extended Kalman filter. *Proc. SAE World Congress*, Detroit, MI, 2007, paper no. 2007-01-0808.
- [8] Imsland L., Johansen T.A., Grip H.F., Fossen T.I. On non-linear unknown input observers—applied to lateral vehicle velocity estimation on banked roads. *International Journal of Control*, 2007, vol. 80, no. 11, pp. 1741–1750.
- [9] Zhileikin M.M., Chuliukin A.O. Algoritm raboty sistemy dinamicheskoi stabilizatsii dlia avtomobilia 4×4 s podkliuchaemoi zadnei os'iu [Algorithm of Dynamic Stabilization System for a Car 4×4 with a Link Rear Axle]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2014, no. 4. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/704685.html> (accessed 10 March 2017), doi: 10.7463/0414.0704685.
- [10] Ryu J., Gerdes J.C. Estimation of vehicle roll and road bank angle. *Proceedings of the American Control Conference*, Boston, MA, United States, June 30 2004–July 2, 2004, vol. 3, pp. 2110–2115.
- [11] Zhileikin M.M. *Teoreticheskie osnovy povysheniia pokazatelei ustoichivosti i upravliaemosti kolesnykh mashin na baze metodov nechetkoi logiki* [The theoretical basis for improving sustainability performance, and manageability-wheeled vehicles on the basis of fuzzy logic techniques]. Moscow, Bauman Press, 2016. 238 p.

Статья поступила в редакцию 20.03.2017

## Информация об авторах

**ЛОБУСОВ Евгений Сергеевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [evgeny.lobusov@yandex.ru](mailto:evgeny.lobusov@yandex.ru)).

**ЖИЛЕЙКИН Михаил Михайлович** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [jileykin\\_m@mail.ru](mailto:jileykin_m@mail.ru)).

## Information about the authors

**LOBUSOV Evgeniy Sergeevich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Automatic Control Systems. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [evgeny.lobusov@yandex.ru](mailto:evgeny.lobusov@yandex.ru)).

**ZHILEYKIN Mikhail Mikhailovich** (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Wheel Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [jileykin\\_m@mail.ru](mailto:jileykin_m@mail.ru)).