

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.1.02

DOI 10.18698/0536-1044-2017-4-11-20

Метод определения параметров движения двухосных колесных машин для обеспечения работы системы динамической стабилизации

Г.Г. Анкинович, А.Н. Вержбицкий, М.М. Жилейкин

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

A Method of Determining Motion Parameters of Two-Axle Wheeled Vehicles to Ensure the Operation of the Dynamic Stability System

G.G. Ankinovich, A.N. Verzhbitskiy, M.M. Zhileykin

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: ank-gg42@yandex.ru, aver@bmstu.ru, jileykin_m@mail.ru

i Управляемость и устойчивость — важнейшие эксплуатационные свойства автомобиля и составляющие безопасности его движения, повышению которых во всем мире придается большое значение. Одной из главных проблем, возникающих при разработке алгоритмов работы систем активной безопасности колесной машины, является получение достоверной информации о количественных значениях параметров ее движения, позволяющей судить, насколько они соответствуют показателям, заданным водителем, прогнозировать момент наступления нештатных ситуаций и диагностировать их вид (например, занос передних или задних осей, опасность опрокидывания и др.). К наиболее часто используемым на практике параметрам, характеризующим условия движения колесных машин, относится угол отклонения вектора фактической скорости ее центра масс от вектора его теоретической (кинематической) скорости. Однако определение направления вектора фактической скорости центра масс связано с большими вычислительными трудностями вследствие необходимости построения сложных прогнозирующих фильтров Калмана. Предложен метод определения параметров движения двухосной колесной машины для обеспечения работы системы динамической стабилизации, позволяющий надежно и экономично диагностировать занос ее передней или задней оси. Методами имитационного моделирования движения двухосных автомобилей с задней и передней ведущими осями доказана работоспособность предложенного метода.

Ключевые слова: двухосная колесная машина, система динамической стабилизации, занос передней оси, занос задней оси, вектор скорости.

i Controllability and stability of the vehicle are the most important performance properties and safety components. The significance of work on improving these properties is recognized worldwide. One of the major problems in the development of algorithms of operation

of active safety systems is obtaining reliable information about the quantitative values of the parameters of motion of a wheeled vehicle. This information is required to assess how these parameters match the indicators specified by the driver, to predict the time of occurrence of abnormal situations and to diagnose these situations (for example, a skid of the front or rear axles, a tipping hazard, etc.). One of the most commonly used parameters characterizing the conditions of motion of wheeled vehicles, is the angle of deviation of the actual speed vector of the center of mass from its theoretical (kinematic) speed vector. However, determining the direction of the actual speed vector of the center of mass is associated with high computational difficulties due to the need to build complex predictive Kalman filters. The authors propose a method of determining the parameters of motion of two-axle wheeled vehicles to ensure the operation of the dynamic stability system. Using this method, it is possible to diagnose the skidding of the front or rear axles reliably and economically. The feasibility of the proposed method is demonstrated by the tests simulating motion of two-axle vehicles with front and rear driving axles.

Keywords: two-axle wheeled vehicle, dynamic stability system, front axle skid, rear axle skid, velocity vector.

Управляемость и устойчивость — важнейшие эксплуатационные свойства автомобиля и составляющие безопасности его движения, повышению которых придается большое значение во всем мире [1]. Как известно, основным назначением систем активной безопасности транспортного средства является предотвращение аварий. Применение систем динамической стабилизации (СДС) позволяет в различных нештатных ситуациях сохранять контроль над колесной машиной (КМ), или, другими словами, сохранять ее устойчивость и управляемость.

К главным проблемам, возникающим при разработке алгоритмов работы СДС, относится получение достоверной информации о количественных значениях параметров движения КМ, позволяющей судить, насколько они соответствуют показателям, заданным водителем, прогнозировать момент наступления нештатных ситуаций и диагностировать их вид (например,

занос передних или задних осей, опасность опрокидывания и др.).

Одним из наиболее используемых на практике параметров, характеризующих условия движения КМ, является угол отклонения вектора фактической скорости v_{ϕ} центра масс C машины от вектора v_T его теоретической (кинематической) скорости: $\beta = \Theta_T - \Theta_{\phi}$ (рис. 1) [2–9]. И если значение угла Θ_T достаточно просто найти из кинематических соотношений, зная геометрические параметры шасси и закон поворота управляемых колес [10], то для определения угла Θ_{ϕ} надо вычислять текущую скорость КМ.

Достоинство такого метода — простота диагностирования нештатных ситуаций [11]. Однако определение направления фактического вектора скорости центра масс сопряжено с большими вычислительными трудностями [2] вследствие необходимости строить сложные модели наблюдателей или прогнозирующие фильтры Калмана.

Очевидно, что расчетные процедуры, позволяющие определять параметры движения КМ и управляющие воздействия, должны быть экономичными, т. е. время, затрачиваемое на вычисления, должно быть меньше интервала регулирования.

Основной задачей информационной системы СДС является диагностика состояния движения КМ, т. е. по показаниям датчиков необходимо определить, к какому из трех возможных состояний принадлежит текущий набор данных:

1) штатная ситуация → корректировка не требуется;

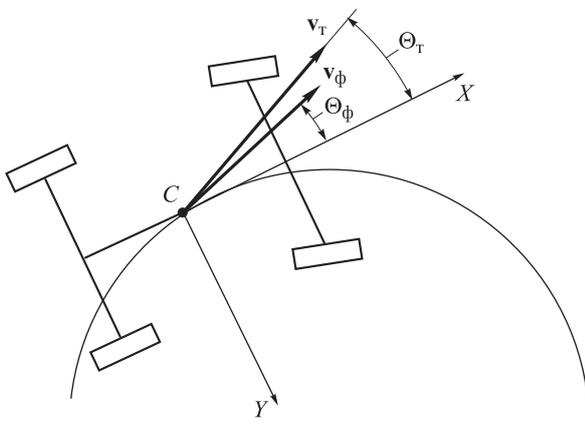


Рис. 1. Схема для определения угла отклонения вектора скорости от продольной оси КМ

2) развитие заноса передней оси → необходима корректировка;

3) развитие заноса задней оси → требуется корректировка.

Цель работы — разработка метода определения параметров движения двухосных КМ для обеспечения функционирования СДС.

Постановка задач. Для достижения поставленной цели необходимо:

- выбрать измеритель, т. е. параметр, характеризующий свойство КМ сохранять курсовую и траекторную устойчивость;
- обосновать выбор показателя устойчивости КМ, т. е. числа, характеризующего количественное значение измерителя;
- разработать диагностический признак, т. е. правила, позволяющие при всех режимах движения КМ однозначно определять, к какому из трех возможных состояний принадлежит текущий набор данных;
- создать экономичную вычислительную процедуру, помогающую в режиме реального времени оценивать состояние движения КМ и

принимать решение о необходимости введения корректирующих воздействий;

- определить набор параметров, требующихся для работы диагностической системы и подлежащих измерению в процессе движения КМ;
- исследовать работоспособность предложенного алгоритма методами имитационного моделирования.

Обоснование выбора измерителя и показателя курсовой и траекторной устойчивости двухосной КМ.

Рассмотрим процесс возникновения заноса КМ [13]. Если у автомобиля, движущегося со скоростью v_a , начинается занос передней (рис. 2, а) или задней (рис. 2, б) оси со скоростью v_3 , то в результате геометрического сложения скоростей v_a и v_3 эта ось перемещается в направлении результирующей скорости v_p . При этом вторая ось по-прежнему движется со скоростью v_a , что приводит к повороту КМ вокруг мгновенного центра O и появлению центробежной силы P_c и инерционного момента $M_{ин}$. Таким образом, можно утверждать, что при движении без заноса линейные скорости

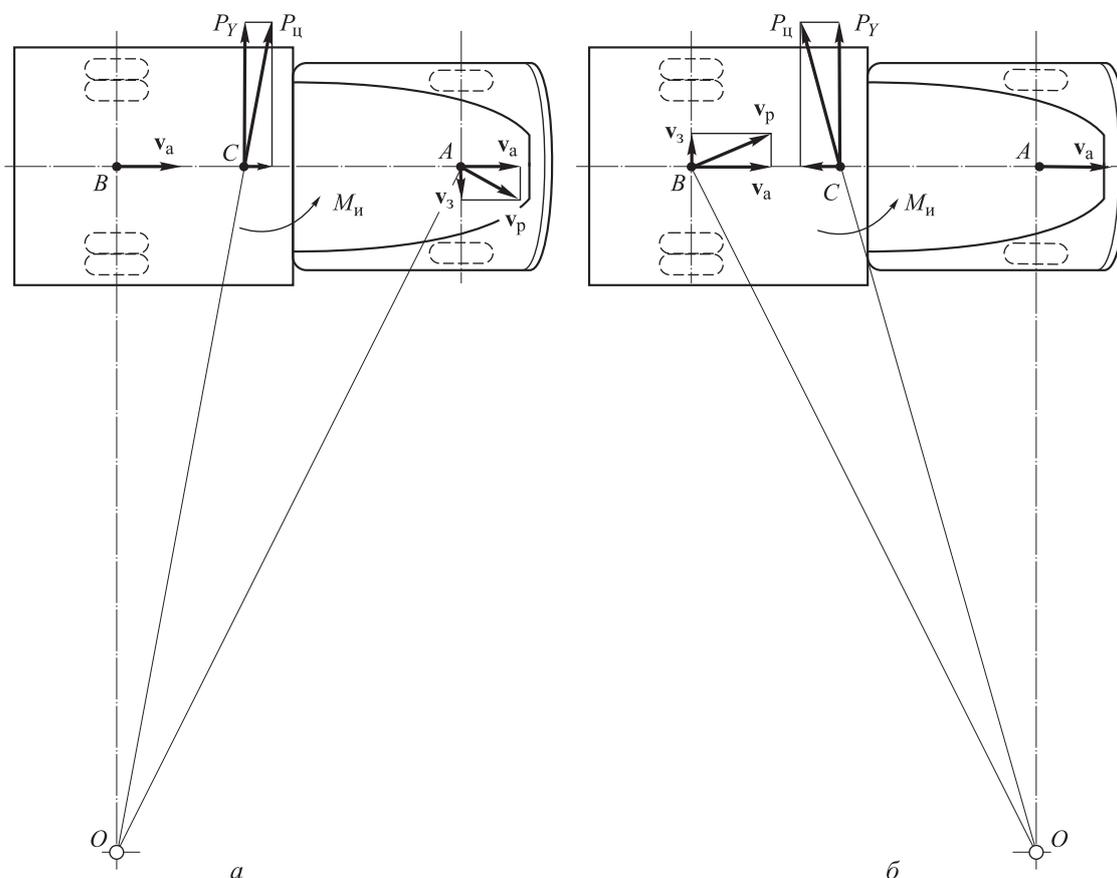


Рис. 2. Схема для определения заноса передней (а) и задней (б) осей КМ: P_Y — проекция центробежной силы P_c на ось Y системы координат, связанной с корпусом машины

центров осей КМ будут примерно одинаковы по абсолютной величине. В случае возникновения заноса модуль вектора линейной скорости центра оси, которая входит в занос, всегда будет больше того же показателя для оси, работающей в штатном режиме. Эти рассуждения вполне можно распространить на любые две точки, например на центры передней и задней осей.

Для определения соотношения между линейными скоростями рассмотрим схему «идеального» поворота двухосного автомобиля относительно мгновенного центра O (рис. 3). Примем за полюс центр масс КМ (точку C). Тогда вектор линейной скорости центра передней оси (точка A) \mathbf{v}_A будет равен сумме векторов

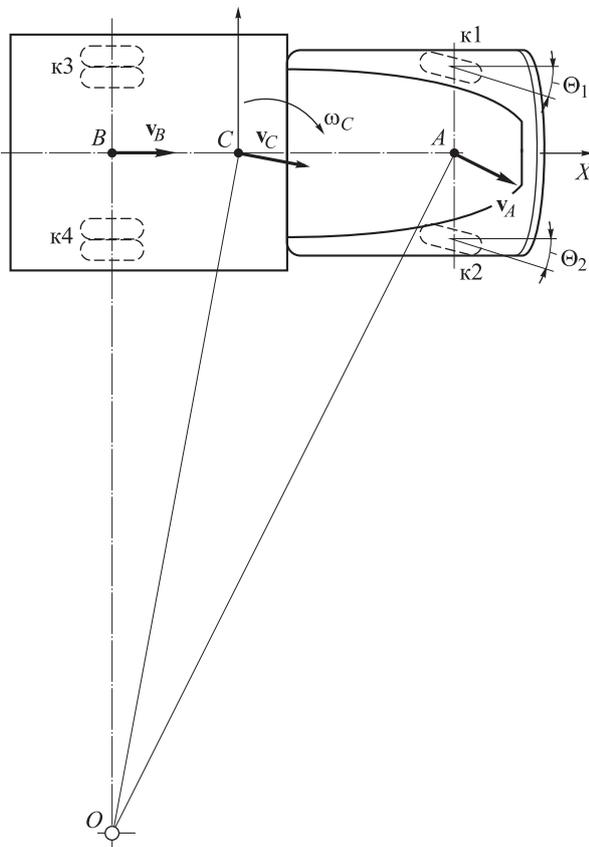


Рис. 3. Схема «идеального» поворота двухосного автомобиля: к1...к4 — номера колес

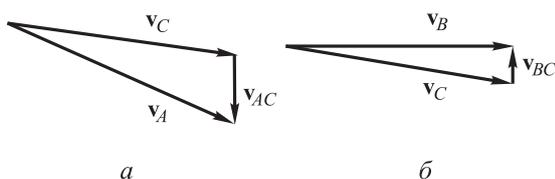


Рис. 4. Планы скоростей для центров переднего (а) и заднего (б) колес автомобиля

переносной (линейной скорости точки C) \mathbf{v}_C и относительной скорости точки A относительно полюса C \mathbf{v}_{AC} (рис. 4, а):

$$\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_C + \mathbf{v}_{AC}. \quad (1)$$

Если рассматривать «идеальный» поворот, когда колеса автомобиля движутся без увода и скольжения, то можно записать

$$|\mathbf{v}_A| = \omega_A r_1; \quad (2)$$

$$|\mathbf{v}_{AC}| = \omega_C |AC|,$$

где ω_A — средняя угловая скорость вращения колес передней оси, $\omega_A = \omega_1 + \omega_2 / 2$ (ω_1, ω_2 — угловые скорости вращения передних колес); r_1 — динамический радиус колеса.

Для центра задней оси — точки B (рис. 4, б) можно получить зависимости, аналогичные выражениям (1) и (2):

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_C + \mathbf{v}_{BC}; \quad (3)$$

$$|\mathbf{v}_B| = \omega_B r_2; \quad (4)$$

$$|\mathbf{v}_{BC}| = \omega_C |BC|,$$

где ω_B — средняя угловая скорость вращения колес задней оси, $\omega_B = \omega_3 + \omega_4 / 2$ (ω_3, ω_4 — угловые скорости вращения задних колес); r_2 — динамический радиус колеса.

Расстояния AC и BC (см. рис. 3) для конкретной КМ известны и не изменяются в процессе движения.

Разработка диагностического признака выявления наступления заноса передней или задней осей КМ. Основная идея предлагаемого метода заключается в оценке вектора линейной скорости \mathbf{v}_C двумя способами: сначала с помощью выражений (1)–(2) получим значение $|\mathbf{v}_{C1}|$, а затем, используя соотношения (3)–(4), — $|\mathbf{v}_{C2}|$. Логично предположить, что для автомобиля, движущегося без заноса, выполняется условие

$$|\mathbf{v}_{C1}| \approx |\mathbf{v}_{C2}|. \quad (5)$$

Рассмотрим случай, когда

$$|\mathbf{v}_{C1}| > |\mathbf{v}_{C2}|. \quad (6)$$

Принимая во внимание, что оценка векторов \mathbf{v}_{AC} и \mathbf{v}_{BC} не вызывает сомнений (поскольку угловую скорость ω_C можно легко измерить, а расстояния AC и BC остаются неизменными), запишем

$$|\mathbf{v}_A| > \omega_A r_1 \quad \text{и (или)} \quad |\mathbf{v}_B| < \omega_B r_2. \quad (7)$$

При этом, учитывая соотношение (6), логично предположить, что

$$|\mathbf{v}_A| > |\mathbf{v}_B|. \tag{8}$$

На основании заключений, сделанных ранее, имеем занос передней оси.

Рассматривая случай, когда

$$|\mathbf{v}_{C1}| < |\mathbf{v}_{C2}|, \tag{9}$$

и рассуждая аналогично, получим

$$|\mathbf{v}_A| < |\mathbf{v}_B|. \tag{10}$$

Это означает, что наступил занос задней оси.

Таким образом, диагностические признаки наступления заноса передней или задней осей автомобиля можно сформулировать следующим образом:

- если

$$\| |\mathbf{v}_{C1}| - |\mathbf{v}_{C2}| \| \leq \Delta v, \tag{11}$$

то заноса нет, и реакции системы управления не требуется. Зона нечувствительности Δv введена для компенсации погрешностей расчета, связанных с отсутствием учета увода шин и т. п., а также для исключения автоколебаний, которые могут возникнуть при работе СДС;

- если

$$|\mathbf{v}_{C1}| - |\mathbf{v}_{C2}| > \Delta v, \tag{12}$$

то диагностируется занос передней оси.

- если

$$|\mathbf{v}_{C1}| - |\mathbf{v}_{C2}| < -\Delta v, \tag{13}$$

то выявляется занос задней оси.

Разработка вычислительной процедуры, реализующей диагностику состояния движения КМ. Запишем выражения (1)–(4) в проекциях на оси X и Y , связанные с центром масс КМ:

- для центра передней оси

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}_{C1X}| &= \omega_A r_1 \cos \Theta; \\ |\mathbf{v}_{C1Y}| + \omega_C |AC| &= \omega_A r_1 \sin \Theta; \end{aligned} \tag{14}$$

- для центра задней оси

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}_{C2X}| &= \omega_B r_2; \\ |\mathbf{v}_{C2Y}| - \omega_C |BC| &= 0, \end{aligned} \tag{15}$$

где Θ — средний угол поворота передних управляемых колес, $\Theta = (\Theta_1 + \Theta_2)/2$ (Θ_1, Θ_2 — углы поворота передних колес).

Тогда модули скоростей

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}_{C1}| &= \sqrt{|\mathbf{v}_{C1X}|^2 + |\mathbf{v}_{C1Y}|^2}; \\ |\mathbf{v}_{C2}| &= \sqrt{|\mathbf{v}_{C2X}|^2 + |\mathbf{v}_{C2Y}|^2}. \end{aligned} \tag{16}$$

Соотношения (14)–(16) являются достаточно простыми и не требуют громоздких вычислительных процедур. Это позволяет утверждать, что программная реализация предлагаемого метода будет достаточно экономичной.

Обоснование набора параметров, необходимых для работы диагностической системы и подлежащих измерению в процессе движения КМ. На основе полученных выражений (1)–(14), составляющих вычислительную процедуру процесса диагностирования наступления заноса передней или задней оси КМ, можно составить список физических сигналов, подлежащих измерению в процессе движения автомобиля:

- угловые скорости вращения колес КМ;
- угловая скорость вращения КМ относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр масс;
- угол поворота рулевого колеса.

Для проведения вычислений в процессе движения КМ также следует знать динамические радиусы колес, однако измерить их значения весьма трудно. Тем не менее, поскольку динамические радиусы несущественно отличаются от статических, с достаточной степенью точности при проведении расчетов можно использовать значения последних, пренебрегая их зависимостью от возможного изменения массы КМ в процессе движения, перераспределения нагрузок между осями и т. п.

Константами, необходимыми для функционирования системы, являются расстояния AC и BC (см. рис. 4) и статические радиусы колес.

Исследование работоспособности предложенного алгоритма методами имитационного моделирования. В целях подтверждения работоспособности алгоритма диагностирования состояния движения КМ были проведены теоретические исследования с помощью имитационного математического моделирования. Особенности математической модели движения КМ рассмотрены в работе [14].

Выполнено численное моделирование движения передне- и заднеприводной машин с ко-

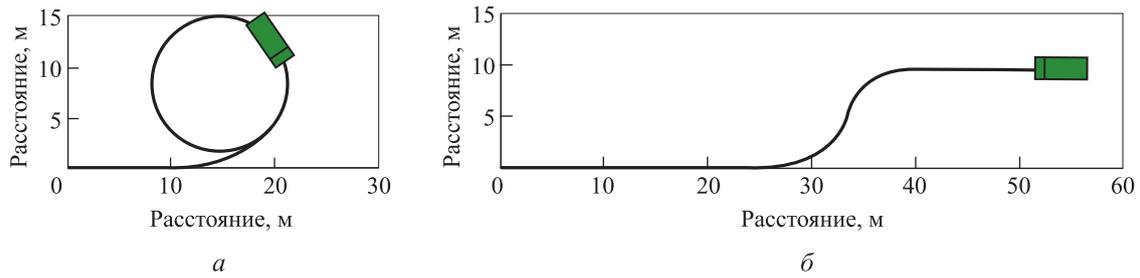


Рис. 5. Траектории движения КМ при совершении маневров «поворот» (а) и «переставка» (б) на опорном основании «сухой асфальт»

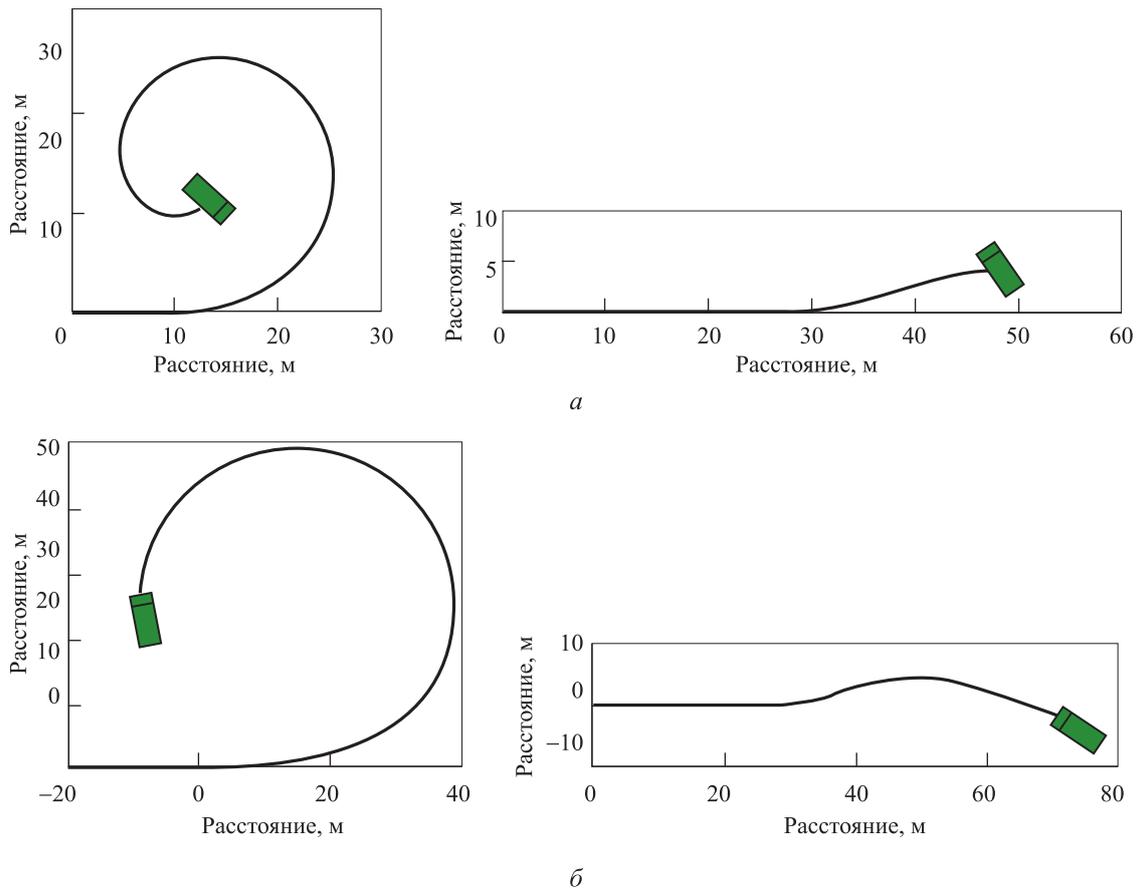


Рис. 6. Траектории движения задне- (а) и переднеприводной (б) КМ при выполнении маневров «поворот» (слева) и «переставка» (справа) на опорном основании «сухой лед»

лесной формулой 4×2 полной массой 1 700 кг на двух типах опорного основания: «сухой лед» (с коэффициентом взаимодействия движителя с опорным основанием при полном буксовании $\mu_{s \max} = 0,1$) и «сухой асфальт» ($\mu_{s \max} = 0,6$). Следует отметить, что под термином «опорное основание» понимается только твердая недеформируемая опорная поверхность. Передние колеса КМ — управляемые, начальная скорость движения $v = 20$ км/ч. Движение КМ исследовали при постоянном уровне воздействия на педаль акселератора. Угол поворота рулевого колеса при повороте изменялся от

нуля до заданного значения в течение 1-й секунды и далее оставался неизменным. Моделировали два типа маневров:

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

Исследование работоспособности предлагаемого диагностического признака (11)–(13) распознавания заносов передней или задней осей двухосной КМ проведено в сравнении с диагностическим признаком, основанным на разности углов между векторами теоретической и фактической скорости центра масс [13]:

• если

$$\text{sign}(\Theta_T - \Theta_\Phi)\text{sign}(\Theta) > 0, \quad (17)$$

то диагностируется занос передней оси (см. рис. 1);

• если

$$\text{sign}(\Theta_T - \Theta_\Phi)\text{sign}(\Theta) < 0, \quad (18)$$

то диагностируется занос задней оси (см. рис. 1).

На рис. 5 приведены траектории движения КМ при совершении маневров «поворот» и «переставка» на опорном основании «сухой асфальт» (при этом передне- и заднеприводные версии КМ показали практически одинаковые результаты).

На рис. 6 представлены результаты исследования движения задне- и переднеприводных КМ

при выполнении маневров «поворот» и «переставка» на опорном основании «сухой лед». Как и ожидалось, у первой из них наблюдается занос задних осей, а у второй — передних.

График изменения во времени разности векторов скоростей по диагностическому признаку (13) при совершении заднеприводной КМ маневров «поворот» и «переставка» (рис. 7, а) показывает, что распознавание заноса задней оси проведено правильно, диагностический признак на всем рассмотренном временном интервале принимает отрицательные значения. На рис. 7, б представлен график разности углов векторов скоростей по диагностическому признаку (18) при выполнении заднеприводной КМ тех же маневров. Из рис. 7, а и б следует, что между диагностическими признаками (13)

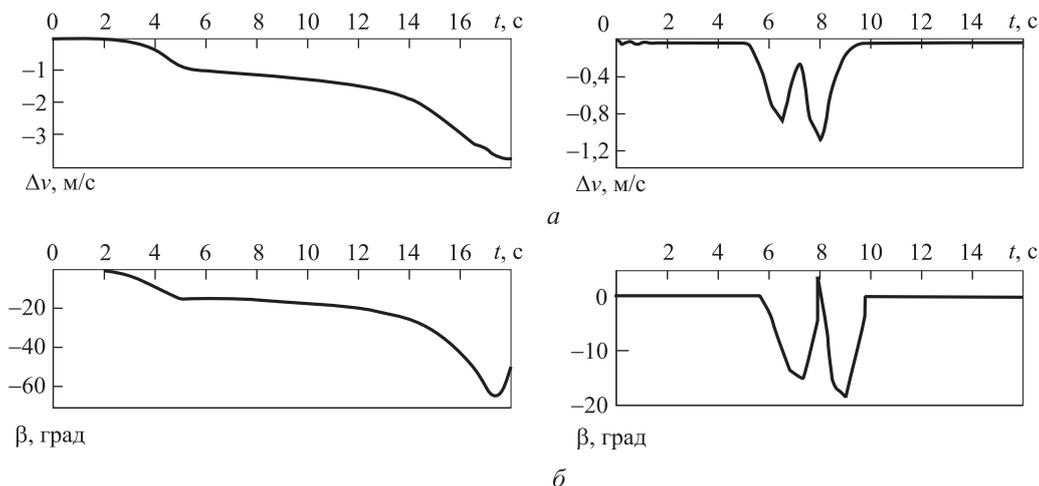


Рис. 7. Зависимости разности векторов скоростей Δv (а) и разности углов β векторов скоростей (б) от времени t при совершении заднеприводной КМ маневров «поворот» (слева) и «переставка» (справа) на опорном основании «сухой лед»

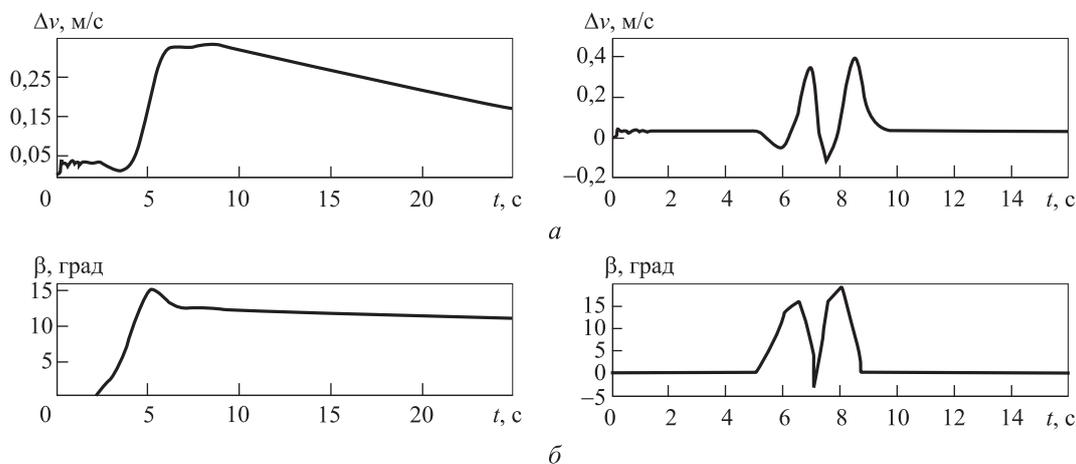


Рис. 8. Зависимости разности векторов скоростей Δv (а) и разности углов β векторов скоростей (б) от времени t при совершении переднеприводной (б) КМ маневров «поворот» (слева) и «переставка» (справа) на опорном основании «сухой лед»

и (18) имеется хорошая корреляционная зависимость.

На рис. 8, а приведен график изменения во времени разности векторов скоростей по диагностическому признаку (12) при выполнении переднеприводной КМ маневров «поворот» и «переставка», который показывает, что распознавание заноса передней оси проведено правильно, диагностический признак на всем рассмотренном временном интервале принимает положительные значения. На рис. 8, б представлен график изменения во времени разности углов векторов скоростей по диагностическому признаку (17) при совершении тех же маневров. Как видно из рис. 8, а и б, между

диагностическими признаками (12) и (17) существует хорошая корреляционная зависимость.

Выводы

1. Предложен метод определения параметров движения двухосных КМ для обеспечения работы СДС, позволяющий надежно и экономично диагностировать занос передней или задней оси таких машин.

2. Методами имитационного моделирования движения двухосных КМ с задней и передней ведущими осями доказана работоспособность предложенного метода.

Литература

- [1] Белоусов Б.Н., Попов С.Д. *Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 728 с.
- [2] 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.
- [3] Karogal I., Ayalew B. Independent Torque Distribution Strategies for Vehicle Stability Control. *SAE Technical Papers*, 2009. doi: 10.4271/2009-01-0456.
- [4] Hiemer M., Von Vietinghoff A., Kiencke U., Matsunaga T. Determination of the vehicle body slip angle with non-linear observer strategies. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 11–14 April 2005, paper no. 2005-01-0400.
- [5] 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.
- [6] Klier W., Reim A., Stapel D. Robust estimation of vehicle sideslip angle – an approach w/o vehicle and tire models. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 14–17 April 2008, paper no. 2008-01-0582.
- [7] Sentouh C., Sebsadji Y., Mammar S., Glaser S. Road bank angle and faults estimation using unknown input proportional-integral observer. *9th European Control Conference*, 2007, Kos International Convention Center, Kos, Greece, 2–5 July 2007, code 111730, pp. 5131–5138.
- [8] 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. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 16–19 April 2007, paper no. 2007-01-0808.
- [9] 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, is. 11, pp. 1741–1750.
- [10] Ларин В.В. *Теория движения полноприводных колесных машин.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 391 с.
- [11] 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 20 августа 2014).
- [12] Ryu J., Gerdes J.C. Estimation of vehicle roll and road bank angle. *American Control Conference*, 2004, vol. 3, pp. 2110–2115.

- [13] Вахламов В.К. *Автомобили. Эксплуатационные свойства*. Москва, Академия, 2006. 240 с.
- [14] 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] Belousov B.N., Popov S.D. *Kolesnye transportnye sredstva osobo bol'shoi gruzopod'emnosti. Konstruktsiia. Teoriia. Raschet* [Wheeled vehicles especially big load capacity. Design. Theory. Payment]. Moscow, Bauman Press, 2006. 728 p.
- [2] 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.
- [3] Karogal I., Ayalew B. Independent Torque Distribution Strategies for Vehicle Stability Control. *SAE Technical Papers*, 2009. doi: 10.4271/2009-01-0456.
- [4] Hiemer M., Von Vietinghoff A., Kiencke U., Matsunaga T. Determination of the vehicle body slip angle with non-linear observer strategies. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 11–14 April 2005, paper no. 2005-01-0400.
- [5] 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.
- [6] Klier W., Reim A., Stapel D. Robust estimation of vehicle sideslip angle – an approach w/o vehicle and tire models. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 14–17 April 2008, paper no. 2008-01-0582.
- [7] Sentouh C., Sebsadji Y., Mammari S., Glaser S. Road bank angle and faults estimation using unknown input proportional-integral observer. *9th European Control Conference*, 2007, Kos International Convention Center, Kos, Greece, 2–5 July 2007, code 111730, pp. 5131–5138.
- [8] 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. *SAE World Congress*, Detroit, MI, US, 16–19 April 2007, paper no. 2007-01-0808.
- [9] 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, is. 11, pp. 1741–1750.
- [10] Larin V.V. *Teoriia dvizheniia polnoprivodnykh kolesnykh mashin* [Theory of motion of four-wheel drive wheeled vehicles]. Moscow, Bauman Press, 2010. 391 p.
- [11] 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 4x4 with a Link Rear Axle]. *Nauka i obrazovanie. MGTU imeni N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman Moscow State Technical University]. 2014, no. 4. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/704685.html> (accessed 20 August 2014). doi: 10.7463/0414.0704685.
- [12] Ryu J., Gerdes J.C. Estimation of vehicle roll and road bank angle. *American Control Conference*, 2004, vol. 3, pp. 2110–2115.
- [13] Vakhlamov V.K. *Avtomobili. Ekspluatatsionnye svoistva* [Cars. Operational properties]. Moscow, Akademiia publ., 2006. 240 p.
- [14] Zhileikin M.M. *Teoreticheskie osnovy povysheniia pokazatelei ustoychivosti i upravliaemosti kolesnykh mashin na baze metodov nechetkoi logiki* [Theoretical bases of increase of indicators of stability and controllability of the wheeled vehicle based on fuzzy logic methods]. Moscow, Bauman Press, 2016. 238 p.

Информация об авторах

АНКИНОВИЧ Генрих Георгиевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ank-gg42@yandex.ru).

ВЕРЖБИЦКИЙ Александр Николаевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: aver@bmstu.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).

Information about the authors

ANKINOVICH Genrikh Georgievich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Wheeled Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: ank-gg42@yandex.ru).

VERZHBITSKIY Aleksandr Nikolaevich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Wheeled Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: aver@bmstu.ru).

ZHILEYKIN Mikhail Mikhailovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Wheeled Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: jileykin_m@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

вышла в свет монография

В.Г. Цегельского

«Струйные аппараты»

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований двухфазных струйных аппаратов и газовых эжекторов с звуковыми и сверхзвуковыми соплами. Предложена общая теория, опирающаяся на термодинамику необратимых процессов и объясняющая с единых позиций протекающие в них процессы. Рассмотрены физические особенности течения как двухфазных, так и газовых сред в проточной части аппарата. Сформулирована аксиома о стремлении к совершенству процессов в природе, определяющая с позиции термодинамики необратимых процессов реализацию одного из нескольких возможных режимов работы как в однофазных газовых, так и двухфазных струйных аппаратах. Приведены методики расчета двухфазных струйных аппаратов эжекторного и инжекторного типов и газовых эжекторов с цилиндрическими и коническими камерами смешения. Показаны перспективы использования этих аппаратов в нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях промышленности, в энергетике, космической и глубоководной технике.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru;

www.baumanpress.ru