

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.1.073

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-3-33-40

Алгоритм работы системы управления тяговыми электродвигателями при криволинейном движении многоосных колесных машин по неровностям деформируемого опорного основания

Н.С. Вольская, М.М. Жилейкин, А.Ю. Захаров

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

An Algorithm for Operating Traction Motor Control Systems of Multi-Axle Wheeled Vehicles in Nonlinear Motion on an Uneven Deformable Support Base

N.S. Volskaya, M.M. Zhileykin, A.J. Zakharov

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

e-mail: volskaja52@mail.ru, jileykin_m@mail.ru, zakharov-al@mail.ru



В настоящее время конструкции многоосных колесных машин оснащают трансмиссиями разного типа: механическими, гидро- и электромеханическими, гидрообъемными и комбинированными. Несмотря на то что проблеме эффективного распределения крутящих моментов по колесам посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей, универсального закона управления индивидуальным приводом колес не существует. Поэтому основное достоинство гибких трансмиссий — возможность подведения к движителю в любой момент времени в зависимости от условий движения необходимого крутящего момента — в полном объеме не используется. Предложен алгоритм работы системы управления тяговыми электродвигателями при криволинейном движении многоосных колесных машин по неровностям деформируемого опорного основания, позволяющий снизить степень буксования ведущих колес, а значит, и глубину колеи, и затраты мощности на преодоление сопротивления движению. Методами имитационного моделирования движения многоосной колесной машины по деформируемому опорному основанию «сухой песок» подтверждена работоспособность созданного алгоритма.

Ключевые слова: многоосная колесная машина, тяговый электропривод, алгоритм работы системы управления, деформируемое опорное основание

i Multi-axle wheeled vehicles are currently equipped with transmission drives of various types (mechanical, hydraulic, electromechanical, hydrostatic and combined). Despite the fact that numerous works of both Russian and foreign researchers address the problem of efficient torque distribution among the wheels, there is no universal law that governs the operation of individual drives. That is why the main advantage of flexible transmissions, that is the possibility of delivering the required torque to the actuator at any point of time depending on the road conditions, is not fully utilized. The authors propose an algorithm for operating a control system of traction motors in nonlinear motion of multi-axle wheeled vehicles on an uneven deformable support base. The algorithm makes it possible to reduce the slipping of the driving wheels and, therefore, the rut depth and the power required to overcome resistance to motion. The efficiency of the proposed algorithm is confirmed by methods of simulation of motion of a multi-axle wheeled vehicle on the “dry sand” deformable support base.

Keywords: multi-axle wheeled vehicle, electric traction drive, operation algorithm of the control system, deformable support base

В настоящее время конструкции многоосных колесных машин (МКМ) оснащают трансмиссиями разного типа: механическими, гидро- и электромеханическими, гидрообъемными и комбинированными. С увеличением грузоподъемности, полной массы и числа осей возникает тенденция перехода от механических трансмиссий к другим ее типам. Это связано, во-первых, с тем, что при возрастании числа осей машины конструкции механических и гидромеханических вариантов трансмиссии существенно усложняются. Во-вторых, использование электромеханического привода позволяет решить задачи, связанные с рационализацией и оптимизацией распределения мощности, подводимой от источника энергии к ведущим колесам, что напрямую определяет энергоэффективность движения МКМ [1–3].

Очевидно, что при различных условиях и режимах движения (таких как разгон, торможение, криволинейное движение или прямолинейное преодоление подъема, движение по твердой или деформируемой опорной поверхности и т. д.) перераспределение мощности, подводимой к колесам разных бортов и осей, должно быть неодинаковым. При возрастании числа движителей задача перераспределения мощности по ним становится еще более сложной.

Например, известен способ управления электрической трансмиссией МКМ [4], при котором тяговые электродвигатели (ТЭД) управляются уставкой по угловой скорости вращения выходного вала. Однако при этом может возникнуть циркуляция мощности между колесами, работающими в тяговом режиме, что снижает соответствующую динамику МКМ.

В работе [5] рассмотрены условия перераспределения подводимой мощности между ведущими колесами полноприводных машин, обеспечивающие снижение потерь мощности и достижение максимума тяговых возможностей благодаря индивидуальному силовому приводу колес при движении по деформируемой грунтовой поверхности.

В статье [6] описаны алгоритмы распределения мощности, подводимой к колесам полноприводных автомобилей, и рассмотрены два варианта алгоритма управления их движением — с минимальными затратами мощности и максимальными сцепными свойствами, — обеспечивающих соответственно экономичность и высокую проходимость в заданных условиях. Однако для практической реализации этих алгоритмов требуется знать зависимости радиуса качения колеса или коэффициента сопротивления качению от вертикальной нагрузки, давления воздуха в шинах, степени износа протектора и типа опорного основания, что вызывает затруднения в изменяющихся внешних условиях движения.

Информация о зарубежных исследованиях, касающихся разработки законов управления трансмиссиями специальных многоосных колесных транспортных средств с индивидуальным приводом движителей, не всегда доступна. Это обусловлено спецификой объектов, используемых, в том числе под монтаж и перевозку систем вооружения. В то же время достаточно большое количество изысканий направлено на совершенствование систем управления серийных гражданских МКМ. Это особенно актуально в связи с возрастающим интересом

к электрическому транспорту и применению гибридных трансмиссий.

В работе [7] представлена система управления индивидуальным приводом колес вездеходного транспортного средства с колесной формулой 6×6, основанная на использовании математического аппарата нечеткой логики. Обозначенные подходы можно использовать и при создании систем управления трансмиссиями МКМ с другими колесными формулами. Следует отметить широкое применение аппарата нечеткой логики для создания систем управления различными узлами и агрегатами автомобиля [8–12], в том числе для повышения тяговой динамики и активной безопасности. Улучшить тяговую динамику, устойчивость, управляемость и, как следствие, активную безопасность автомобиля можно также путем рационального распределения тяговых усилий по колесам [10].

Несмотря на то что проблеме эффективного распределения крутящих моментов по колесам посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей, анализ теоретических и практических разработок показал, что в настоящее время нет единых критериев оценки схем трансмиссий и законов распределения мощности по колесам. Причем не существует и универсального закона управления индивидуальным приводом колес. Поэтому в полном объеме не используется основное достоинство гибких трансмиссий — возможность подведения к движителю в любой момент времени в зависимости от условий движения необходимого крутящего момента.

Цель работы — создание алгоритма функционирования системы управления ТЭД при криволинейном движении МКМ по неровностям деформируемого опорного основания, который обеспечивает снижение степени буксования ведущих колес, а значит, и глубины колеи, и затрат мощности на преодоление сопротивления движению.

Создание алгоритма работы системы управления ТЭД при криволинейном движении МКМ по неровностям деформируемого опорного основания. При разработке алгоритма принят подход, исключающий описание внутренней динамики процессов, происходящих в электро-механических устройствах [3]. В зоне контакта шины катящегося колеса с дорожным полотном всегда имеет место проскальзывание элементов ее протектора, особенно при движении по опор-

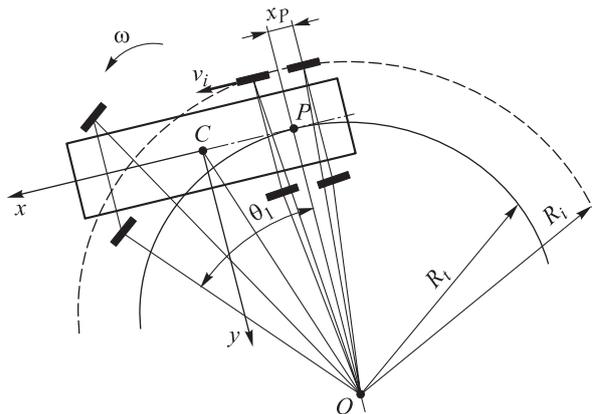


Рис. 1. Расчетная схема поворота МКМ:

ω — угловая скорость поворота; v_i — линейная скорость движения центра i -го колеса; P — полюс рулевого управления; x_p — координата смещения полюса поворота; C — центр масс; O — мгновенный центр поворота

ной поверхности с низкими сцепными и несущими свойствами (например, по песку). Повышенное буксование колес ухудшает тягосцепные свойства МКМ и может привести к частичной или полной потере ее подвижности.

Для устранения или уменьшения негативных последствий буксования необходимо регулировать значение крутящего момента, подводимого к ведущему колесу, исходя из тягосцепных свойств в контакте шины с грунтом. Применение индивидуального тягового электропривода (ИТЭП) ведущих колес позволяет решить эту задачу. Для достижения поставленной цели необходимо выявлять буксующие колеса и снижать подводимый к ним крутящий момент до тех пор, пока частота вращения колеса не достигнет эталонного значения.

При разработке алгоритма распределения тяговых моментов по ведущим колесам МКМ примем следующие допущения:

- кинематика поворота управляемых колес идеальна;
- хотя бы одно из колес транспортного средства не буксует;
- колесо, имеющее минимальную частоту вращения с учетом коэффициента изменения скорости, считается не буксующим.

Воспользуемся расчетной схемой на примере МКМ с колесной формулой 6×6 (рис. 1).

Теоретическая частота вращения i -го колеса МКМ определяется по выражению

$$\omega_{Ti} = v_i / r_k, \quad i = 1, \dots, n_k, \quad (1)$$

где r_k — динамический радиус колеса, принятый равным статическому радиусу; n_k — число колес МКМ.

Знание частот вращения колес или кинематических параметров криволинейного движения еще не может служить основанием для разработки алгоритма управления ТЭД. Необходимо выполнять сравнение текущей угловой скорости вращения колеса с некоторой эталонной, которой может служить значение этого параметра при прямолинейном движении, одинаковое для каждого колеса. Однако при криволинейном движении МКМ значения частот вращения колес становятся различными. Поэтому за базу для сравнения предлагается принимать частоту вращения ω_p условного эталонного колеса, расположенного так, что его центр совпадает с полюсом P рулевого управления. Значение и направление вектора скорости этого колеса всегда совпадают с таковыми при прямолинейном движении.

В качестве параметра для эталонной базы будем использовать безразмерный коэффициент изменения угловой скорости вращения колеса

$$K_{vi} = \frac{\omega_{Ti}}{\omega_p}. \quad (2)$$

С учетом формулы (1) выражение (2) преобразуется к виду

$$K_{vi} = \frac{v_i}{v_p},$$

где v_p — линейная скорость условного эталонного колеса.

Для определения кинематических параметров модели установившегося поворота обратимся к расчетной схеме, приведенной на рис. 1. Из нее следует, что линейная скорость центра каждого колеса определяется по формуле

$$v_i = \omega_{Ti} R_i, \quad (3)$$

где R_i — радиус траектории движения i -го колеса относительно мгновенного центра поворота.

С учетом формулы (3) выражение для коэффициента изменения скорости примет вид

$$K_{vi} = \frac{R_i}{R_t},$$

где R_t — радиус поворота, измеренный по полюсу рулевого управления.

Согласно расчетной схеме:

$$R_t = \frac{L - x_p}{\operatorname{tg} \theta_{1cp}};$$

$$\theta_{1cp} = \frac{\theta_1 + \theta_4}{2};$$

$$R_1 = \sqrt{\left[R_t - \operatorname{sign}(\theta_{1cp}) \frac{B}{2} \right]^2 + (L - x_p)^2};$$

$$R_2 = \sqrt{\left[R_t - \operatorname{sign}(\theta_{1cp}) \frac{B}{2} \right]^2 + 0,25l_{23}^2};$$

$$R_3 = R_2;$$

$$R_4 = \sqrt{\left[R_t + \operatorname{sign}(\theta_{1cp}) \frac{B}{2} \right]^2 + (L - x_p)^2};$$

$$R_5 = \sqrt{\left[R_t + \operatorname{sign}(\theta_{1cp}) \frac{B}{2} \right]^2 + 0,25l_{23}^2};$$

$$R_6 = R_5,$$

где L — база МКМ; θ_1 и θ_4 — углы поворота левого и правого колес передней оси; B — колея МКМ; l_{23} — расстояние между второй и третьей осями машины.

Частота вращения условного эталонного колеса, расположенного в полюсе рулевого управления, вычисляется следующим образом:

$$\omega_p = \frac{\omega_{\min}}{K_v};$$

$$\omega_{\min} = \min[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_k}],$$

где ω_{\min} — угловая скорость вращения самого медленного колеса (вычисляется на каждом шаге управления).

Теоретические частоты вращения каждого колеса сравниваются со значениями, полученными по выражению

$$\omega_{Ti} = \omega_p K_{vi}.$$

Пробуксовка колес определяется из условия

$$\omega_{ki} > \omega_{Ti}, \quad (4)$$

где ω_{ki} — измеренная угловая скорость вращения i -го колеса.

Управление двигателем осуществляется с помощью коэффициентов использования максимальной мощности h_i . Крутящий момент на валу i -го ТЭД

$$M_{двi} = \frac{h_i N_{\max}}{\omega_{Ti}}, \quad (5)$$

где N_{\max} — максимальная мощность.

Если условие (4) не выполняется, то степень использования максимальной мощности ТЭД i -го ведущего колеса в формуле (5) имеет вид

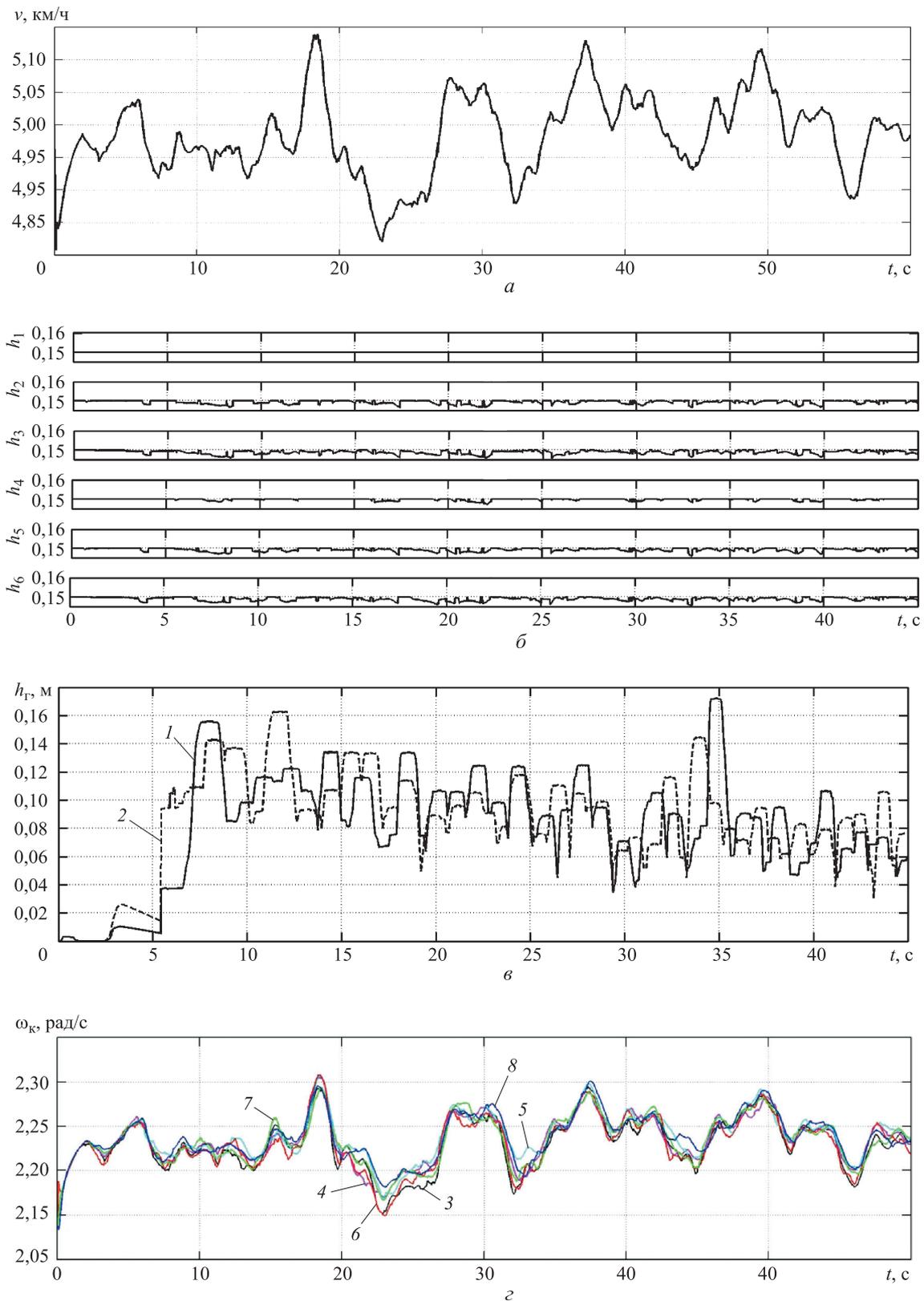


Рис. 2. Зависимости параметров движения МКМ от времени t :
 а — скорости движения МКМ v ; б — управляющих коэффициентов h_1-h_6 ; в — глубины колеи h_r для колес левого (1) и правого (2) бортов задней оси; г — угловых скоростей ω_k первого (3), второго (4), третьего (5), четвертого (6), пятого (7) и шестого (8) колес

$$h_i = h_{др} \frac{R_t}{R_i},$$

где $h_{др}$ — степень нажатия водителем на педаль подачи топлива.

При выполнении условия (4) необходимо корректировать крутящий момент ТЭД в сторону уменьшения его значения. В этом случае

$$h_i = h_{др} \frac{R_t \omega_{ki}}{R_i \omega_{ti}}. \quad (6)$$

При прямолинейном движении ($\theta_{1cp} \leq 3^\circ$)

$$\omega_p = \omega_{min}.$$

При выполнении условия (4) h_i вычисляется по формуле (6). Если условие (4) не выполняется, то $h_i = h_{др}$.

Исследование работоспособности алгоритма управления ИТЭП методами имитационного моделирования.

Условия движения при моделировании прямолинейного движения трехосной колесной машины по деформированному опорному основанию. Для проверки работоспособности и эффективности разработанного алгоритма управления ИТЭП ведущих колес проведено моделирование движения трехосной колесной машины по неровностям деформируемого грунтового основания «сухой песок», параметры которого взяты из работы [13].

Параметры грунтового основания «сухой песок»

Коэффициент деформации грунта $c_{гр}$, МПа 1,1
Показатель плотности грунта μ 0,18

Удельный вес грунта γ , кг/м³ 2,68·10³
Угол внутреннего трения грунта φ_r^* , град 37
Максимальный сдвиг грунта, при котором связанность частиц грунта не нарушена,
 $e_{хт}$, м 0,05
Коэффициент трения полного скольжения $\mu_{s\alpha max}$ 0,6
Константа S_0 0,05

Математическая модель движения МКМ приведена в работе [9].

Результаты моделирования прямолинейного движения трехосной колесной машины по деформированному грунту. Моделировали разгон на прямой при постоянном уровне нажатия на педаль подачи топлива $h_{др} = 0,15$.

На рис. 2 приведены временные зависимости скорости движения МКМ v , управляющих коэффициентов h_i ($i = 1, \dots, 6$), глубины колеи h_r для колес левого и правого бортов задней оси и угловых скоростей колес ω_k .

Выводы

1. Разработан алгоритм работы системы управления ИТЭП ведущих колес МКМ, отличающийся тем, что за счет снижения степени буксования ведущих колес уменьшается глубина образуемой колеи и снижаются затраты мощности на преодоление сопротивления движению колесной машины.

2. Методами имитационного моделирования движения многоосной колесной машины по деформируемому опорному основанию типа «сухой песок» доказана работоспособность разработанного алгоритма.

Литература

- [1] Горелов В.А., Котиев Г.О., Мирошниченко А.В. Синтез системы управления тяговыми электродвигателями для индивидуального привода ведущих колес автомобиля. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2011, вып. 12. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/282533.html>.
- [2] Горелов В.А., Котиев Г.О., Мирошниченко А.В. Алгоритм управления индивидуальным приводом колесных движителей транспортных средств. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2011, спец. выпуск Энергетическое и транспортное машиностроение, с. 39–58.
- [3] Горелов В.А., Жилейкин М.М., Шинкаренко В.А. Разработка закона динамической стабилизации многоосной колесной машины с индивидуальным приводом движителей. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://www.engjournal.ru/catalog/machin/transport/1029.html> (дата обращения 15 ноября 2017).
- [4] Шеломков С.А., Купреянов А.А. *Способ управления многоприводной электрической трансмиссией многоосной колесной машины*. Пат. 2426660 РФ, МПК В 60 L 15/20, Н 02 Р 5/46. Опубликовано 20.08.2011, бюл. № 23.

- [5] Плиев И.А., Сайкин А.М., Коршунов Г.В., Архипов А.В. Алгоритмы управления мощностями, подводимыми к колесам полноприводных автомобилей. *Журнал автомобильных инженеров*, 2012, № 3(74), с. 16–18.
- [6] Маляревич В.Э., Эйдман А.А., Прочко В.И. Повышение эксплуатационных свойств полноприводных автомобилей за счет индивидуального силового привода колес. *Журнал автомобильных инженеров*, 2005, № 5(34), с. 30–33.
- [7] Jackson A., Crolla D., Woodhouse A., Parsons M. Improving Performance of a 6×6 Off-Road Vehicle through Individual Wheel Control. *SAE Technical Paper*, 2002, 2002-01-0968, doi: 10.4271/2002-01-0968.
- [8] Bauer M., Tomizuka M. Fuzzy logic traction controllers and their effect on longitudinal vehicle platoon systems. *Vehicle system dynamics*, 1996, vol. 25, is. 4, pp. 277–303.
- [9] 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.
- [10] Жилейкин М.М., Середюк В.А. Разработка закона распределения моментов по колесам многоосной колесной машины с электромеханической трансмиссией, выполненной по схеме «мотор–ось». *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, вып. 5. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/705516.html>, doi: 10.7463/0514.0705516.
- [11] Esmailzadeh E., Goodarzi A., Vossoughi G.R. Optimal yaw moment control law for improved vehicle handling. *Mechatronics*, 2003, no. 13, pp. 659–675.
- [12] Abe M., Kano Y., Suzuki K., Shibahata Y., Furukawa Y. Side-slip control to stabilize vehicle lateral motion by direct yaw moment. *JSAE Review*, 2001, no. 22, pp. 413–419.
- [13] Вольская Н.С. *Оценка проходимости колесных машин при движении по неровной грунтовой поверхности*. Москва, МГИУ, 2007. 215 с.

References

- [1] Gorelov V.A., Kotiev G.O., Miroshnichenko A.V. Sintez sistemy upravleniya tiagovymi elektrodvigateliami dlia individual'nogo privoda vedushchikh koles avtomobilia [Synthesis of control traction motor for individual drive wheeled vehicle]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science & Education. Bauman MSTU]. 2011, is 12. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/282533.html>.
- [2] Gorelov V.A., Kotiev G.O., Miroshnichenko A.V. Algoritm upravleniya individual'nym privodom kolesnykh dvizhitelei transportnykh sredstv [Control algorithm individual drive a vehicle wheel]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering]. 2011, no. SP5, pp. 39–58.
- [3] Gorelov V.A., Zhileikin M.M., Shinkarenko V.A. Razrabotka zakona dinamicheskoi stabilizatsii mnogoosnoi kolesnoi mashiny s individual'nym privodom dvizhitelei [Controlling dynamic stabilization of a multi-wheeled vehicle with an individual propulsor drive]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, is. 12. Available at: <http://www.engjournal.ru/catalog/machin/transport/1029.html> (accessed 15 November 2017).
- [4] Shelomkov S.A., Kupreianov A.A. *Sposob upravleniya mnogoprivodnoi elektricheskoi transmissiei mnogoosnoi kolesnoi mashiny* [Control method mnogoplodnaya electric drivetrain of multi-axis wheeled vehicle]. Patent RF no. 2426660, 2011.
- [5] Pliiev I.A., Saikin A.M., Korshunov G.V., Arkhipov A.V. Algoritmy upravleniya moshchnostiami, podvodimymi k kolesam polnoprivodnykh avtomobilei [The control algorithms for capacity supplied to the wheels of AWD vehicles]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of automotive engineers]. 2012, no. 3(74), pp. 16–18.
- [6] Maliarevich V.E., Eidman A.A., Prochko V.I. Povyshenie ekspluatatsionnykh svoistv polnoprivodnykh avtomobilei za schet individual'nogo silovogo privoda koles [Increase of operational properties of AWD cars due to the individual power drive wheels]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of automotive engineers]. 2005, no. 5(34), pp. 30–33.

- [7] Jackson A., Crolla D., Woodhouse A., Parsons M. Improving Performance of a 6×6 Off-Road Vehicle through Individual Wheel Control. *SAE Technical Paper*, 2002, 2002-01-0968, doi: 10.4271/2002-01-0968.
- [8] Bauer M., Tomizuka M. Fuzzy logic traction controllers and their effect on longitudinal vehicle platoon systems. *Vehicle system dynamics*, 1996, vol. 25, is. 4, pp. 277–303.
- [9] 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]. Moscow, Bauman Press, 2016. 238 p.
- [10] Zhileikin M.M., Serediuk V.A. Razrabotka zakona raspredeleniia momentov po kolesam mnogoosnoi kolesnoi mashiny s elektromekhanicheskoi transmissiei, vypolnennoi po skheme «motor-os'» [A Development of the Distributive Law of Points on the Multi-Wheeled Machine Wheels with Electro-Mechanical Transmission, Made Under the Scheme «Motor-Axis»]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science & Education. Bauman MSTU]. 2014, is. 5. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/705516.html>, doi: 10.7463/0514.0705516.
- [11] Esmailzadeh E., Goodarzi A., Vossoughi G.R. Optimal yaw moment control law for improved vehicle handling. *Mechatronics*, 2003, no. 13, pp. 659–675.
- [12] Abe M., Kano Y., Suzuki K., Shibahata Y., Furukawa Y. Side-slip control to stabilize vehicle lateral motion by direct yaw moment. *JSAE Review*, 2001, no. 22, pp. 413–419.
- [13] Vol'skaia N.S. *Otsenka prokhodimosti kolesnykh mashin pri dvizhenii po nerovnoi gruntovoi poverkhnosti* [Assessment of the patency of wheeled vehicles when driving on a rough dirt surface]. Moscow, MSIU publ., 2007. 215 p.

Статья поступила в редакцию 21.11.2017

Информация об авторах

ВОЛЬСКАЯ Наталья Станиславовна (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: volskaja52@mail.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).

ЗАХАРОВ Александр Юрьевич (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: zakharov-al@mail.ru).

Information about the authors

VOLSKAYA Nataliya Stanislavovna (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: volskaja52@mail.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).

ZAKHAROV Aleksandr Yurievich (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: zakharov-al@mail.ru).