

Разработка адаптивного релейного закона управления демпфированием подвески многоосных колесных машин с целью противодействия продольно-угловым колебаниям корпуса

08, август 2013

DOI: 10.7463/0813.0567732

Жилейкин М. М., Мардеева Л. Р., Вержбицкий А. Н.

УДК 62-522.2

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, ОАО «КАМАЗ»

aver@bmstu.ru

jileykin_m@mail.ru

mardeeval@yandex.ru

Введение

Требуемый уровень демпфирования многоопорной колебательной системы, как известно, зависит от характера внешнего воздействия [1]. В связи с этим регулирование характеристики демпфирования в зависимости от режимов работы систем амортизации является одним из основных направлений дальнейшего их совершенствования. Весьма перспективно это направление для повышения качества систем первичного поддрессоривания многоосных колесных машин (МКМ) с количеством осей более трех [2].

Проведенные исследования показывают, что, применяя в качестве исполнительных устройств регулируемые напорные клапаны в гидравлических амортизаторах или пневмогидравлических рессорах, по способу, предложенному в работе [2], можно получать в подвеске любую требуемую для управления силу. При этом без потери эффективности можно значительно упростить систему управления, используя вместо регулируемых напорных клапанов более простые исполнительные устройства, вплоть до перехода к управлению трехуровневым демпфированием по релейному принципу.

Полученные в работе [2] обобщенные выражения для релейного управления могут быть приведены (в качестве частного случая управления) к известному алгоритму

профессора А.А. Дмитриева противодействия продольно-угловым колебаниям корпуса. Рассмотрим этот частный случай для разработки адаптивного закона управления.

Выбор уровней демпфирования подвески

В работе [3] показано, что для многоосных автомобилей, в силу узкополосного низкочастотного спектра колебаний подрессоренной массы желательной является характеристика демпфирования, обеспечивающая автоматическое получение в зоне резонанса значения коэффициента затухания около $\psi=0,4\dots0,6$ по продольно-угловым и вертикальным колебаниям, независимо от массы объекта и изменения восстанавливающей силы. В то же время в зарезонансной зоне уровень демпфирования надо снижать [4], что приводит к существенному снижению вибронегруженности МКМ. Это приводит к необходимости создания подвески переменной структуры, в которой происходит автоматическое изменение уровня демпфирования в зависимости от вида воздействия на МКМ со стороны дорожных неровностей. Причем достаточно трех уровней: высокого, обеспечивающего $\psi=0,4\dots0,6$, низкого ($\psi=0,1\dots0,2$), и среднего ($\psi=0,25\dots0,3$). При этом средний уровень является основным, а высокий и низкий устанавливаются в зависимости от режима движения.

На основании этих соображений в работе [5] были получены упругая (рис. 1) и трехуровневая демпфирующая (рис. 2) характеристики подвески многоосной колесной машины, технические характеристики которой приведены в работе [2].

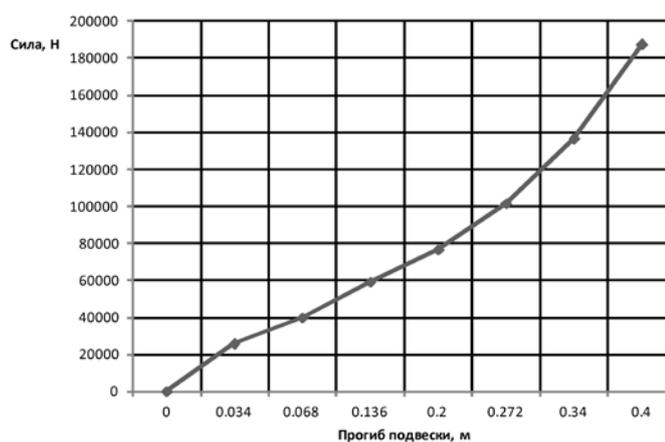


Рис. 1. Зависимость упругой силы подвески от прогиба

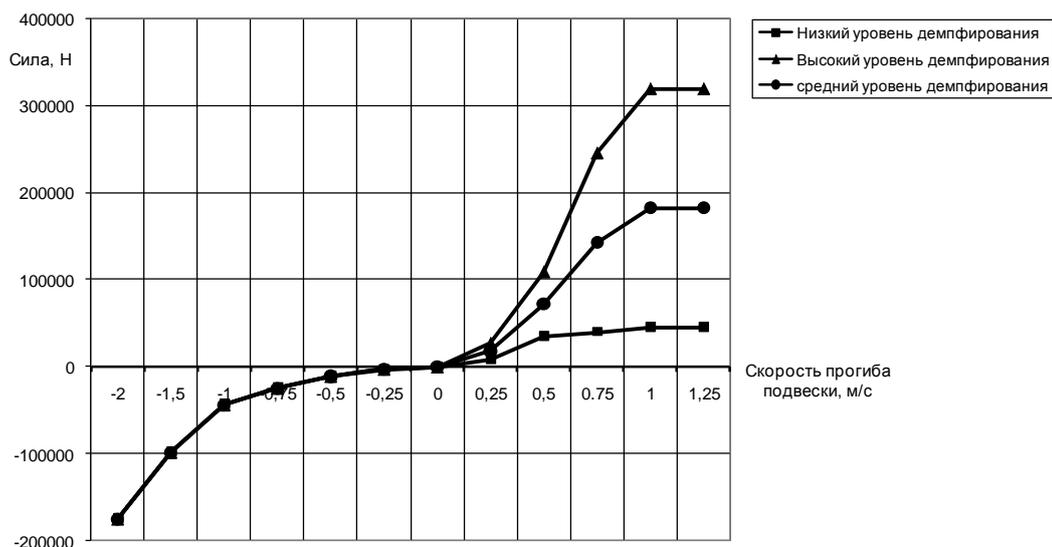


Рис. 2. Зависимость демпфирующей силы подвески от скорости прогиба

Разработка адаптивного релейного закона противодействия продольно-угловым колебаниям корпуса МКМ

Принцип работы алгоритма противодействия продольно-угловым колебаниям профессора А.А. Дмитриева подробно рассмотрен в [6], где было показано, что данный закон управления обладает следующим существенным недостатком: склонность к возникновению автоколебаний, из-за чего приходится вводить зону нечувствительности, конкретные параметры которой – одна из форм неопределенности при проектировании регулятора. Чтобы избежать указанных трудностей, воспользуемся методами нечеткой логики.

Известно, что нечеткое управление основано на использовании не столько аналитических или теоретических моделей, сколько на практическом применении знаний квалифицированных специалистов, представленных в форме лингвистических баз правил. Нечеткое управление эффективно в случаях недетерминированности параметров объектов, когда существует определенный опыт экспертов по управлению и настройке автоматизированной системы регулирования. Теория нечеткой логики позволяет использовать знания специалистов — экспертов с целью улучшения процессов управления и оказания помощи по настройке типовых регуляторов. Исходя из вышесказанного, задача создания метода адаптации регулятора, реализующего опыт экспертов, становится актуальной.

В процессе настройки регулятора используется несколько шагов [7]. Необходимо выбрать диапазоны входных и выходных сигналов, форму функций принадлежности

искомых параметров, правила нечёткого вывода, механизм логического вывода, метод дефаззификации и диапазоны масштабных множителей, необходимых для пересчёта чётких переменных в нечёткие.

Процедура фаззификации

Начнем процедуру фаззификации. Для этого введем одну входную лингвистическую переменную X_1 «Продольно-угловая скорость корпуса», которая характеризуется термами «низкий уровень», «средний уровень», «высокий уровень», и одну выходную лингвистическую переменную b «Уровень демпфирования». Функции принадлежности для входной переменной показаны на рис. 3. Для выходной переменной примем те же термы «низкий уровень», «средний уровень», «высокий уровень», соответствующие демпфирующей характеристике, изображенной на рис. 2.

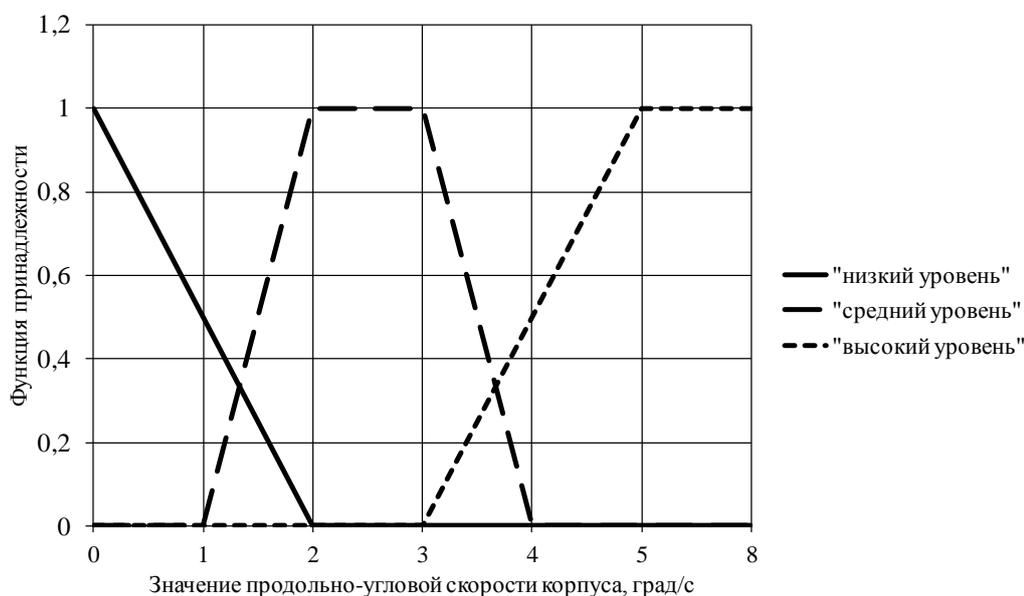


Рис. 3. Функции принадлежности входной переменной «Продольно-угловая скорость корпуса»

Правила и механизм нечёткого логического вывода

Следующий этап – разработка нечетких правил. Большинство нечетких систем используют продукционные правила, связывающие лингвистические переменные [8]. Совокупность таких правил описывает стратегию принятия решения, применяемую в данной задаче.

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение. Будем использовать алгоритм

нечеткого логического вывода Мамдани [9]. Пример нечеткого правила выглядит следующим образом:

ЕСЛИ X_1 «Продольно-угловая скорость корпуса» = «средний уровень», ТО b «уровень демпфирования» = «средний уровень». Полный набор нечетких правил выглядит следующим образом:

при $\dot{\varphi} \leq 0$ (крен корпуса на корму) $\rightarrow b =$ "низкий уровень";

при $\dot{\varphi} > 0$ (крен корпуса на нос);

если $\dot{\varphi} =$ "низкий уровень" $\rightarrow b =$ "низкий уровень";

если $\dot{\varphi} =$ "средний уровень" $\rightarrow b =$ "средний уровень";

если $\dot{\varphi} =$ "высокий уровень" $\rightarrow b =$ "высокий уровень".

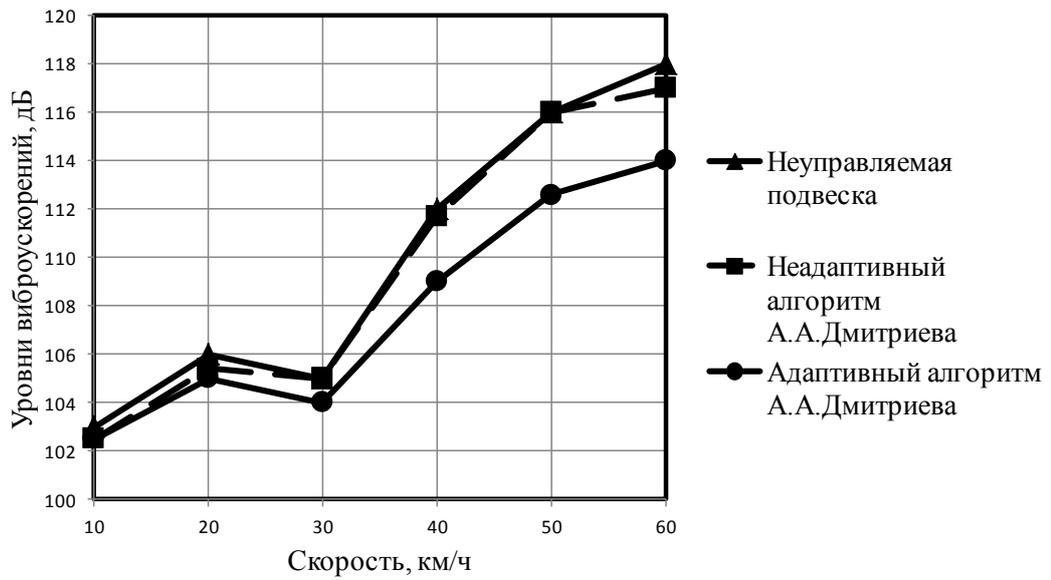
Процедура дефаззификации

На последнем этапе необходимо осуществить переход от нечетких значений выходной величины Y к четкому числовому значению. Эта операция называется дефаззификацией (устранением нечеткости). Так как результатом нечеткого логического вывода может быть несколько термов выходной переменной, то правило дефаззификации должно определить, какой из термов выбрать.

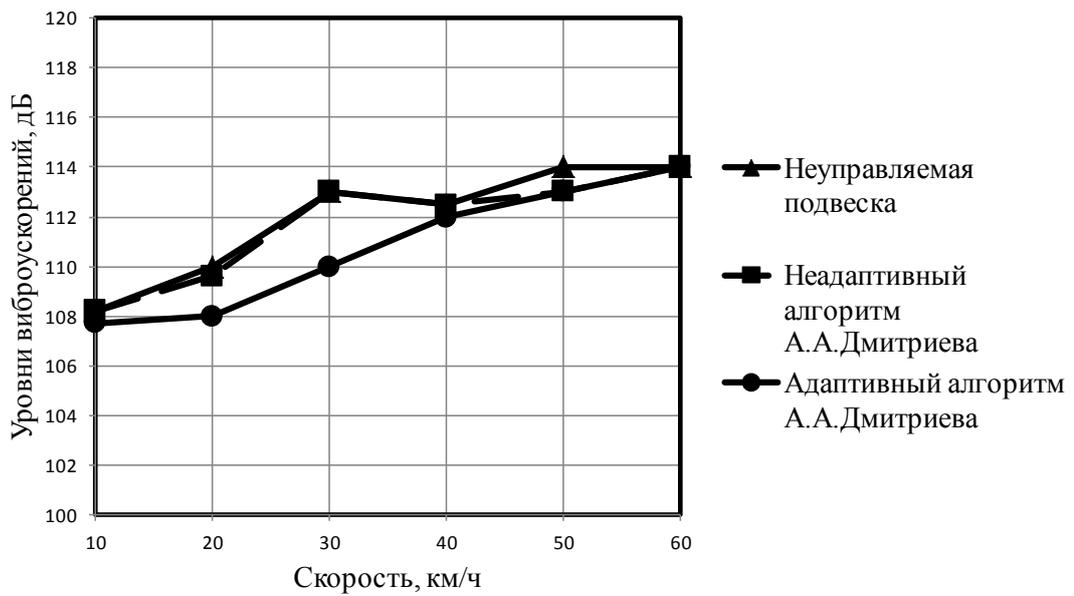
Для релейного управления нужно принять решение, какой уровень демпфирования из трех возможных должен быть установлен. Для этого наилучшим образом подходит метод наибольшего значения [8]. При использовании этого метода правило дефаззификации выбирает максимальное из полученных значений выходной переменной.

Анализ эффективности разработанного адаптивного релейного закона управления системой подрессоривания

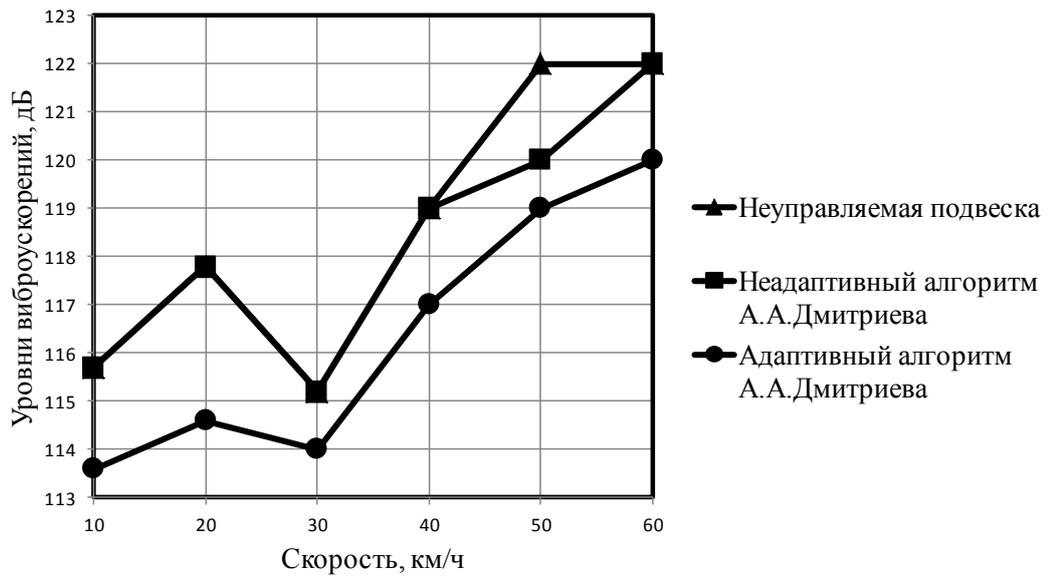
Для оценки эффективности разработанных адаптивных релейных законов управления подвеской на различных скоростях движения по грунтовой дороге 2-й категории [10] моделировалось движение МКМ в диапазоне скоростей 10...60 км/ч. Математическая модель движения МКМ представлена в работе [5], технические характеристики машины – в работе [10]. На рис. 4 (а – д) представлены уровни вертикальных виброускорений на месте водителя для I – V октавных полос частот.



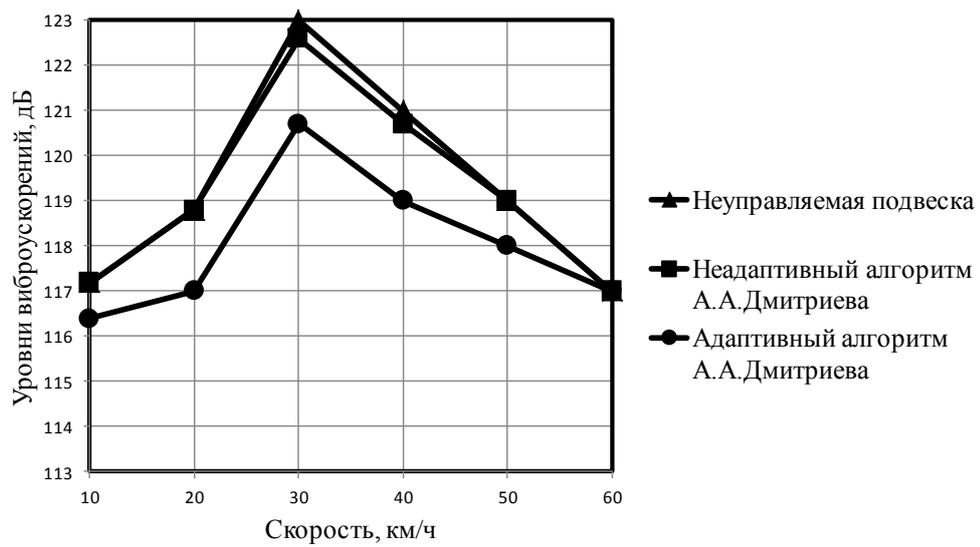
а)



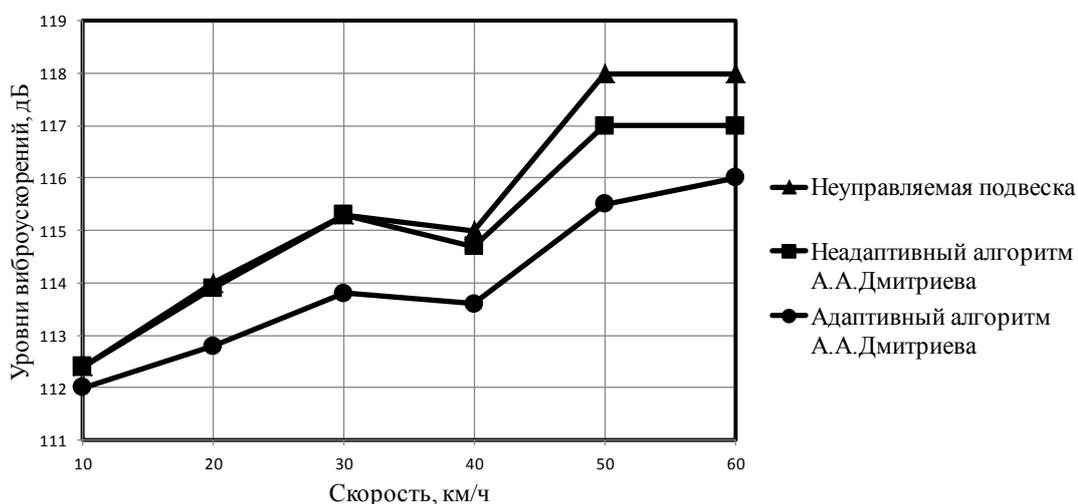
б)



в)



г)



д)

Рис. 4. Уровни вертикальных виброускорений в октавных полосах частот: а) – I октава; б) – II октава; в) – III октава; г) – IV октава; д) – V октава.

Для проведения анализа эффективности разработанного адаптивного закона противодействия продольно-угловым колебаниям корпуса МКМ используем критерий K_i (для i -ой скорости движения на всей совокупности грунтовых дорог), характеризующий работу данной системы по сравнению с неуправляемой подвеской [10]:

$$K_i = \left(\frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \frac{D_{ij} - D_{0ij}}{D_{0ij}} \right) \times 100\%. \quad (1)$$

Здесь D_{ij} - дисперсия вертикальных ускорений на месте водителя для случая управляемой подвески при движении с i -ой скоростью; j – номер категории грунтовой дороги.

Критерий (1) характеризует степень снижения дисперсии вертикальных ускорений на месте водителя для случая управляемой подвески по сравнению с неуправляемой системой поддрессоривания. На рис. 5 показана зависимость показателя эффективности K_i для различных адаптивных законов управления от скорости движения для всей совокупности грунтовых дорог.

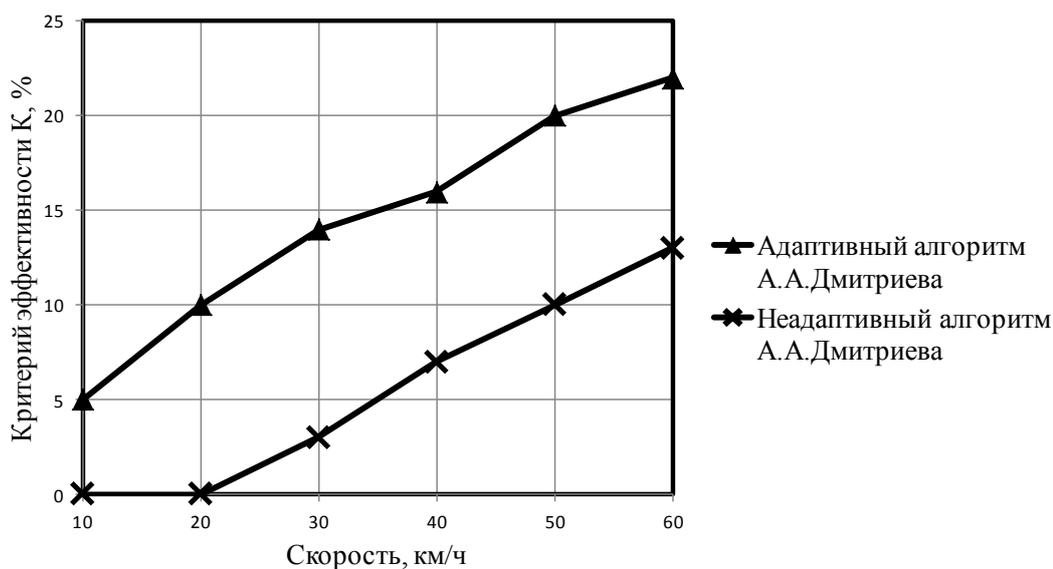


Рис. 5. Зависимость критерия эффективности K_i для различных адаптивных законов управления подвеской для различных скоростей движения по грунтовым дорогам

Выводы

Анализ представленных результатов позволяет сделать вывод о том, что эффективность (снижение уровня дисперсии вертикальных ускорений на месте водителя по сравнению с неуправляемой подвеской) адаптивного закона противодействия продольно-угловым колебаниям составляет 7...22%. Введение адаптивной составляющей для закона противодействия продольно-угловым колебаниям повышает эффективность данного алгоритма на 5...10% по сравнению с неадаптивным законом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана».

Список литературы

1. Фурунжиев Р.И., Останин А. Н. Управление колебаниями многоопорных машин. М.: Машиностроение, 1984. 206 с.
2. Жилейкин М.М. Разработка адаптивного алгоритма релейного управления двухуровневым демпфированием подвески многоосных колесных машин // Наука и

- образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 12. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347444.html> (дата обращения 26.05.2013).
3. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. М.: Машиностроение, 1985. 200 с.
 4. Самонастраивающийся амортизатор с программированной демпфирующей характеристикой / А.Д. Дербаремдикер, Р.А. Мусарский, И.О. Степанов, М.А. Юдкевич // Автомобильная промышленность. 1985. № 1. С. 13-15.
 5. Проектирование полноприводных колесных машин: учебник для вузов: В 3 т. Т. 3 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жеглов и др.; Под ред. А.А. Полунгяна. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 432 с.
 6. Сухоруков А.В. Управление демпфирующими элементами в системе подпрессоривания быстроходной гусеничной машины: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2003. 204 с.
 7. Feng H.M. A selftuning fuzzy control system design // IFSA World-Congress and 20th NAFIPS International Conference (Vancouver, British Columbia, Canada, 25-28 July 2001). 2001. Vol. 1. P. 209-214.
 8. Гриняев С.В. Нечеткая логика в системах управления // Компьютерра Online: электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052/> (дата обращения 26.05.2013).
 9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 288 с.
 10. Жилейкин М.М. Сравнительный анализ эффективности работы непрерывной и релейной систем управления подвеской многоосных колесных машин // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347783.html> (дата обращения 26.05.2013).

Development of an adaptive relay control law for damped suspension of multi-wheeled vehicles in order to prevent linear-angular fluctuations in the housing

08, August 2013

DOI: 10.7463/0813.0567732

Jileikin M.M., Mardeeva L.R., Verjbickii A.N.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation
Russia, OJSC «KAMAZ»

aver@bmstu.ru

jileykin_m@mail.ru

mardeeval@yandex.ru

The required level of damping a multiple-seated oscillatory system, as it is known, depends on the nature of the external impact. In this case, regulation of damping characteristics depending on the operation mode of depreciation systems is one of the main directions of further improvements. Increasing the quality of primary control systems for suspension of multi-wheeled vehicles with the number of axes more than three appears to be very promising. An adaptive relay control law for damped suspension of multi-wheeled vehicles was developed in order to prevent linear-angular fluctuations in the housing. Methods of simulation modeling were used to determine that efficiency (reduction of variance of vertical accelerations at the driver's place compared to the unmanageable suspension) of the adaptive law of counteraction to linear-angular fluctuations is 7...22%. Introduction of an adaptive component increases efficiency of the algorithm by 5...10% compared to the non-adaptive law.

Publications with keywords: [fuzzy logic](#), [the elastic characteristic of a suspension bracket](#), [the damping characteristic of a suspension bracket](#), [two-level damping](#), [adaptive relay control](#)

Publications with words: [fuzzy logic](#), [the elastic characteristic of a suspension bracket](#), [the damping characteristic of a suspension bracket](#), [two-level damping](#), [adaptive relay control](#)

References

1. Furunzhiev P.I., Ostanin A. N. *Upravlenie kolebaniiami mnogoopornykh mashin* [Control of oscillations of multisupporting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1984. 206 p.

2. Zhileykin M.M. Razrabotka adaptivnogo algoritma releynogo upravleniya dvukhurovnevym dempfirovaniem podveski mnogoosnykh kolesnykh mashin [Development of adaptive algorithm of relay management by a two-level damping of a suspension bracket of multi-wheeled vehicles]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2011, no. 12. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347444.html> , accessed 26.05.2013.
3. Derbaremdiker A.D. *Amortizatory transportnykh mashin* [Shock absorbers of transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1985, 200 p.
4. Derbaremdiker A.D., Musarskii R.A., Stepanov I.O., Iudkevich M.A. Samonastravayushchiysya amortizator s programmirovannoy dempfiruyushchey kharakteristikoy [Self-adjusting shock absorber with programmed damping characteristic]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 1985, no. 1, pp. 13-15.
5. Afanas'ev B.A., Belousov B.N., Zheglov L.F., et al. *Proektirovanie polnoprivodnykh kolesnykh mashin. V 3 t. T.3* [Design of all-wheel drive vehicles. In 3 vols. Vol.3]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 432 p.
6. Sukhorukov A.V. *Upravlenie dempfiruyushchimi elementami v sisteme podressorivaniia bystrokhodnoi gusenichnoi mashiny. Kand. diss.* [Management of damping elements in the system of suspension of high-speed tracked vehicle. Cand. diss.]. Moscow, 2003. 204 p.
7. Feng H.M. A self-tuning fuzzy control system design. *IFSA World-Congress and 20th NAFIPS International Conference, 25-28 July 2001, Vancouver, British Columbia, Canada, 2001*, vol. 1, pp. 209-214.
8. Griniaev S.V. Nechetkaia logika v sistemakh upravleniia [Fuzzy logic in control systems]. *Komp'yuterra Online*. Available at: <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052/> , accessed 26.05.2013.
9. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow, Goriachaia liniia -Telekom, 2007. 288 p.
10. Zhileikin M.M. Sravnitel'nyi analiz effektivnosti raboty nepreryvnoi i releinoi sistem upravleniia podveskoi mnogoosnykh kolesnykh mashin [Comparative performance analysis of continuous and relay control systems for the suspension bracket of multi-wheeled vehicles]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 3. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347783.html> , accessed 26.05.2013.