

УДК 629.113

АДАПТИВНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ С ПЕРЕНАСТРАИВАЕМОЙ МОДЕЛЬЮ

А.Н. Туренко, проф., д.т.н., С.Н. Шуклинов, доц., д.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приводится описание имитационной модели процесса торможения автомобиля с адаптивной автоматизированной системой управления с перенастраиваемой моделью. Представлены результаты моделирования торможения автомобиля адаптивной автоматизированной системой управления с перенастраиваемой моделью. Выполнен анализ эффективности использования различных алгоритмов перенастройки модели.

Ключевые слова: автомобиль, замедление, система, тормозное управление, моделирование, настройка модели, управляющее воздействие.

АДАПТИВНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ АВТОМОБІЛЯ З ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНОЮ МОДЕЛЛЮ

А.М. Туренко, проф., д. т. н., С.М. Шуклінов, доц., д. т. н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено опис імітаційної моделі процесу гальмування автомобіля з адаптивною автоматизованою системою керування з переналагоджуваною моделлю. Подано результати моделювання гальмування автомобіля адаптивною автоматизованою системою керування з переналагоджуваною моделлю. Виконано аналіз ефективності використання різних алгоритмів переналагоджування моделі.

Ключові слова: автомобіль, уповільнення, система, гальмівне керування, моделювання, налагоджування моделі, керувальний вплив.

ADAPTIVE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF VEHICLE BRAKING WITH A RECONFIGURABLE MODEL

A. Turenko, Prof., D. Sc. (Eng.), S. Shuklinov, Assoc. Prof., D. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The description of the simulation model of the process of vehicle braking with an adaptive automatic control system and a reconfigurable model are considered. The simulation results of vehicle braking by the adaptive automatic control system with a reconfigurable model are considered. Analysis of effectiveness of the use of different algorithms for reconfiguration of the model are carried out.

Key words: vehicle, deceleration, system, braking control, simulation, configuration model, control action.

Введение

Динамика торможения автомобиля и процесс управления торможением оказывают существенное влияние на активную безопасность автомобилей. Для повышения качества управления торможением автомобиля пред-

лагается ряд автоматических и автоматизированных агрегатов и систем. В частности, адаптивные системы тормозного управления в случае качения колеса в доэкстремальном режиме, при котором тормозная сила на любом колесе меньше максимально возможной силы сцепления колеса с поверхностью доро-

ги в данных условиях, позволяют сформировать инвариантное управление торможением. При этом повышается качество управления служебным торможением автомобиля и эргономические параметры управления торможением, что способствует снижению степени утомления водителя во время управления автомобилем и, как следствие, повышению безопасности движения. В случае экстренного торможения автомобиля критерий качества управляющего сигнала изменяется. Так как при этом качество управления торможением оценивается не точностью формирования замедления автомобиля в соответствии с задающим воздействием водителя, а быстротой формирования управляющего воздействия, формирующего максимально возможное в данных условиях сцепления колес замедление автомобиля. Следует отметить, что при этом качество формирования управляющего сигнала (например, давления в тормозном приводе) зависит от способности водителя быстро создать необходимое задающее воздействие управления – усилие на педали тормоза. Задающее воздействие управления торможением, формируемое водителем, в существенной мере определяется его профессиональной подготовкой и психофизиологическими характеристиками. Для помощи водителю в формировании управляющего воздействия при внезапно возникшей необходимости экстренного торможения в тормозном приводе должны использоваться агрегаты и адаптивные системы с перенастраиваемыми параметрами. Исследование характеристик управления торможением автомобиля адаптивной автоматизированной системой управления с перенастраиваемой моделью рационально выполнять с помощью имитационной модели.

Анализ публикаций

Исследованию адаптивного управления торможением автомобиля посвящены работы [1, 2, 3]. В работе [1] сформированы зависимости, определяющие закон адаптивного управления торможением колесной машины. Авторы работы [2] предложили схему адаптивного тормозного управления колесной машины с электропневматическим приводом тормозов. Достаточно подробно описаны моделирование динамики торможения колесной машины с адаптивным электропневматическим приводом тормозов и результаты исследования процесса торможения автобуса с адаптивным тормозным управлением, сформированным на эталонной модели [3]. Уста-

новлено, что в этом случае водителю не надо адаптироваться к изменившемуся состоянию машины. Следует заметить, что вопросы адаптации тормозного управления к управлению при экстренном торможении автомобиля исследовались, например, в работах [4–6]. Они посвящены вопросам изменения характеристики усилителя частично автоматизированного тормозного привода. Способы адаптации к экстренному торможению тормозного управления с полностью автоматизированным тормозным приводом изучены недостаточно хорошо.

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является имитационное моделирование перенастраиваемой модели адаптивной автоматизированной системы и исследование ее влияния на формирование управляющего воздействия в случае управления торможением при экстренном торможении автомобиля.

Имитационная модель торможения автомобиля

Структурная схема имитационной модели процесса торможения автомобиля адаптивной автоматизированной системой управления с эталонной моделью описана в работе [1]. Модель содержит блоки моделирования задающего воздействия, адаптивной системы с регулятором в основном контуре управления и решения уравнения движения автомобиля. Схема блока Brake-Assist, имитирующего рабочий процесс адаптивной системы с перенастраиваемой моделью, представлена на рис. 1.

Блок Brake-Assist обеспечивает имитацию работы адаптивной системы управления по эталонной модели и по перенастраиваемой модели. Выбор режима моделирования выполняется с помощью ручного переключателя Manual Switch. Перенастраивание модели позволяет изменять коэффициент эффективности основного контура управления при изменении режима задающего воздействия: – при служебном торможении формируется коэффициент эффективности, обеспечивающий хорошее качество слежения; – при экстренном или «паническом» торможении коэффициент эффективности увеличивается, что обеспечивает повышение быстроты действия и эффективности торможения.

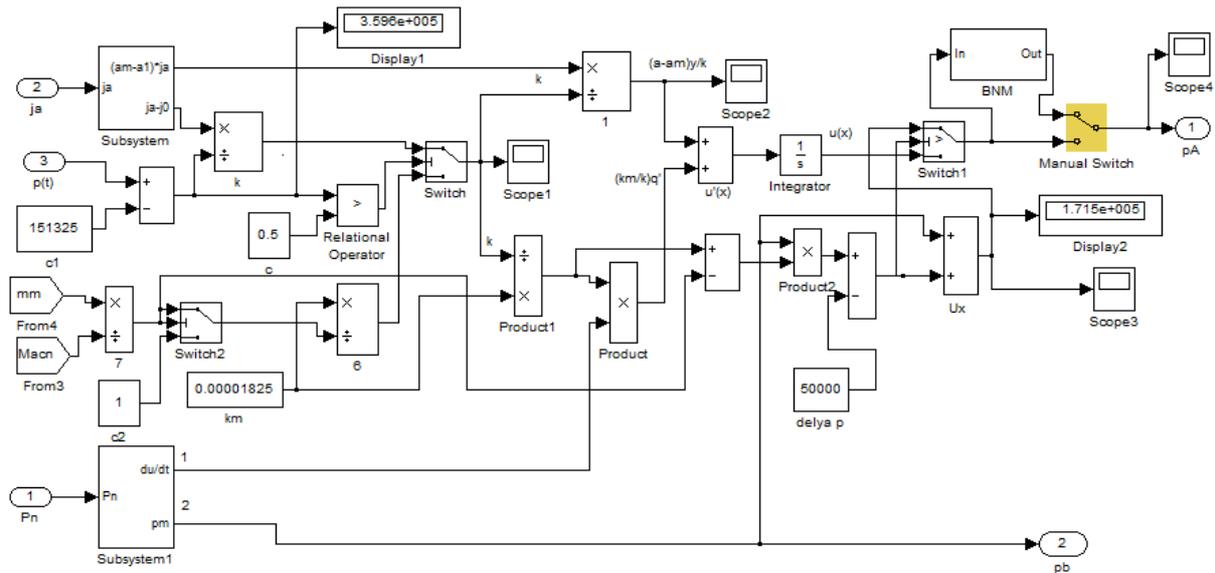


Рис.1. Схема блока Brake-Assist: Subsystem – блок вычисления коэффициентов уравнения управления; Subsystem1 – блок обработки и идентификации задающего воздействия; BNM – блок настройки модели; Manual Switch – включатель блока настройки модели; P_n – задающее воздействие (усилие на педали тормоза); pA – управляющее воздействие (давления воздуха)

При этом решаются задачи:
 – идентификация задающего воздействия;
 – перенастройка модели;
 – вычисления в блоке самонастройки основного контура.

Блок идентификации задающего воздействия IP входит в структуру блока Subsystem1 обработки и идентификации задающего воздействия. В блоке Subsystem1 (рис. 2) обработки и идентификации задающего воздействия определяются давление воздуха и скорость его изменения, пропорциональные задающему воздействию, сформированному водителем.

В блоке IP (рис. 3) определяется пороговое значение задающего воздействия q_n в соответствии с его пороговой мощностью $[N_n]$ и реализуемой скоростью перемещения педали тормоза водителем \dot{x}_n . В результате сравнения порогового значения задающего воздействия q_n и текущего значения задающего воздействия формируется управляющий сигнал для блока BNM (рис. 1), в котором выполняется настройка модели. Управляющий сигнал N_{max} для блока BNM принимает значение «1», если текущее значение задающего воздействия превышает пороговое значение q_m , или «0» – в противоположном случае. Настройка модели выполняется изменением ее коэффициента эффективности (рис. 4).

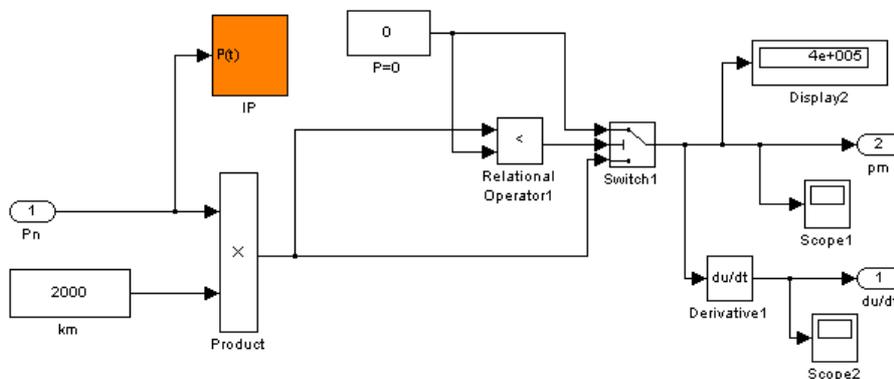


Рис. 2. Структура блока Subsystem1 (рис. 1): IP – блок идентификации задающего воздействия; pm – давление воздуха, пропорциональное усилию на педали тормоза; du/dt – скорость изменения давления воздуха

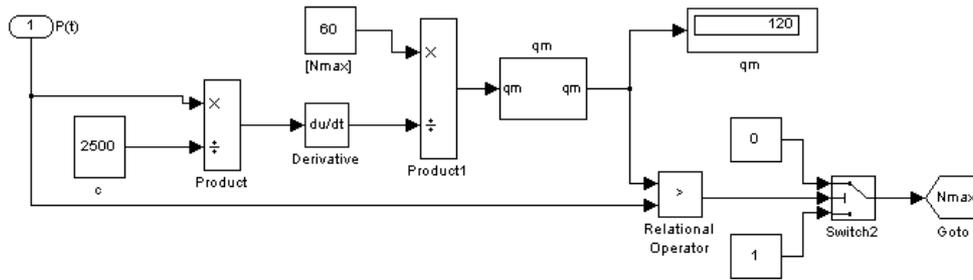


Рис. 3. Структура блока IP с идентификацией порогового задающего воздействия (рис. 2)

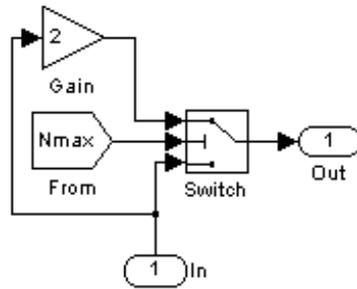


Рис. 4. Структура блока BNM (рис. 1)

$$N_{\text{пор}} = \frac{dP_{\text{п}}}{dt} \cdot x_{\text{п. max}}, \quad (1)$$

где $x_{\text{п. max}}$ – максимально возможное перемещение педали тормоза.

Если выполняются условия

$$\begin{cases} N_{\text{пор}} > [N_{\text{п}}] \\ x_{\text{п}} > 0,1x_{\text{п. max}} \end{cases} \quad (2)$$

Перенастройку модели можно выполнить по оценке прогнозируемой мощности управления. Прогнозируемая мощность управления $N_{\text{пор}}$ – мощность, которая подведена к педали тормоза, в случае, если педаль переместилась бы на максимальный ход со скоростью изменения усилия в начале управления. Это позволит перенастроить модель раньше еще в начале хода педали тормоза (рис. 5). Значение прогнозируемой мощности формируется на выходе блока N_{prog} (рис. 5) в соответствии с формулой

то на выходе блока Switch1 (рис. 5) формируется сигнал на увеличение коэффициента эффективности модели.

В том случае, если к окончанию динамической фазы управления мощность N , подведенная к педали тормоза, окажется меньше прогнозируемой $N_{\text{пор}}$, блоком Switch1 формируется сигнал на уменьшение коэффициента эффективности модели.

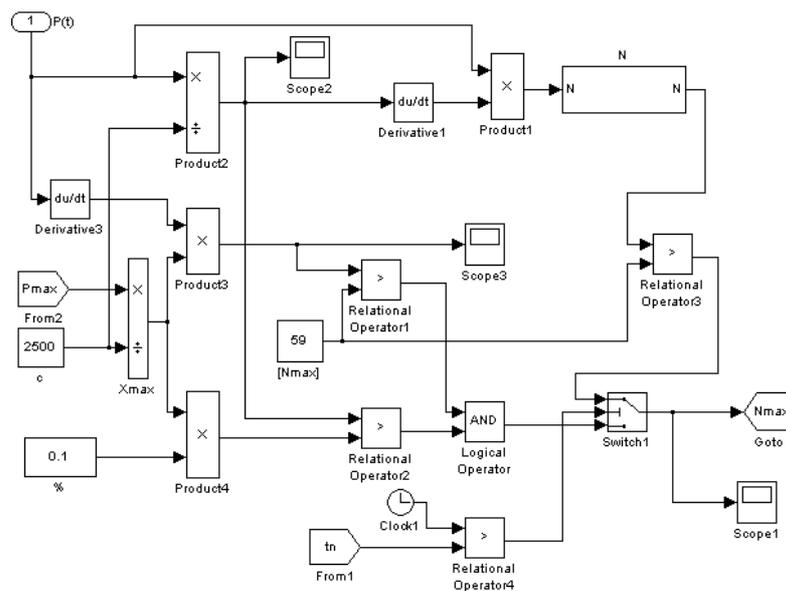


Рис. 5. Структура блока IP с прогнозированием мощности, которая может быть подведена к педали тормоза (рис. 1)

Результаты моделирования торможения автомобиля адаптивной автоматизированной системой управления с перенастраиваемой моделью

На рис. 6 хорошо видны преимущества адаптивного тормозного управления с перенастраиваемой моделью по сравнению с эталонной моделью в режиме экстренного и «панического» торможения.

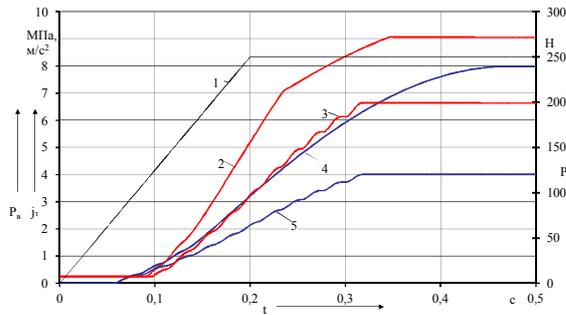
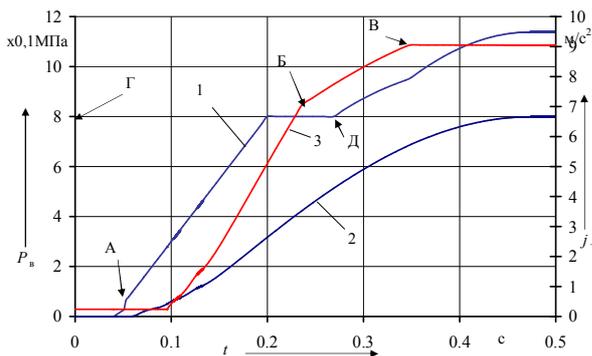


Рис. 6. Изменение параметров при экстренном торможении автомобиля рабочей тормозной системой с эталонной и перенастраиваемой моделью при быстром и сильном нажатии на педаль тормоза ($P_n^{max} = 250 \text{ Н}$, $t_n = 0,2 \text{ с}$): 1 – усилие на педали тормоза; 2, 4 – замедление автомобиля и давление воздуха в тормозном приводе при перенастраиваемой модели; 3, 5 – замедление автомобиля и давление воздуха в тормозном приводе при эталонной модели

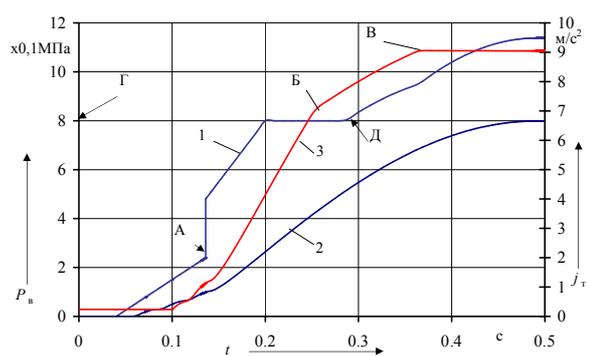
При экстренном торможении водитель развивает на педали тормоза большое усилие за малый период времени, с целью быстрого создания максимального замедления автомобиля. В этом случае модель перенастраивается, в результате чего повышается коэффициент передачи тормозного управления. Это позволяет, при усилии на педали тормоза 250 Н, достигнуть максимального использования тормозных сил на передней и задней осях автомобиля. При этом обеспечивается максимальное замедление автомобиля $9,06 \text{ м/с}^2$, ограничиваемое условием сцепления колес с опорной поверхностью, через 0,35 с. Уровень замедления $6,65 \text{ м/с}^2$, равный максимальному значению для этого усилия на педали, формируемому в случае эталонной модели, достигается на 0,09 с раньше.

В случае экстренного торможения алгоритм перенастройки модели, формируемый блоком IP (рис. 3, 5), не оказывает существенного влияния на динамику изменения замедления автомобиля.

Как видно на рис. 7, максимальное замедление автомобиля, в случае сравнения пороговой мощности на педали тормоза с прогнозируемой мощностью на педали тормоза, достигается на 0,02 с раньше, чем при сравнении пороговой мощности с текущей мощностью на педали тормоза.



а



б

Рис. 7. Изменение параметров торможения автомобиля рабочей тормозной системой с перенастраиваемой моделью при быстром и сильном нажатии на педаль тормоза ($P_n^{max} = 250 \text{ Н}$, $t_n = 0,2 \text{ с}$): а – перенастройка модели по прогнозируемой мощности на педали тормоза; б – перенастройка модели по развиваемой мощности на педали тормоза; 1 – расчетное значение управляющего воздействия (давление воздуха); 2 – управляющее воздействие (давление воздуха в тормозных камерах); 3 – замедление колесной машины; А – момент перенастройки модели; Б, В – достижение максимума тормозной силы соответственно на передней и задней осях; Г – уровень насыщения по давлению; Д – выход в зону неустойчивости системы управления

Более высокое быстродействие системы управления обусловлено тем, что в случае перенастройки модели по прогнозируемой мощности на педали тормоза момент перенастройки (точка А на рис. 7) наступает раньше, чем в случае перенастройки модели по развиваемой мощности на педали.

Незначительная разница в быстродействии системы при экстренном торможении обусловлена тем, что в обоих случаях перенастройки системы ее быстродействие ограничено быстродействием электропневматического привода (кривая 2), а не величиной рассчитанного в соответствии с алгоритмом управляющего воздействия (кривая 1).

В случае «панического» торможения, то есть при быстром, но несильном нажатии на педаль тормоза, алгоритм перенастройки моде-

ли оказывает более существенное влияние на динамику изменения замедления колесной машины (рис. 8). Если используется алгоритм с перестройкой модели по развитой на педали тормоза мощности, то система работает так же, как и при служебном торможении с эталонной моделью (зависимости 3, 5 на рис. 8 и 4 на рис. 9), так как развитая мощность на педали тормоза в динамической стадии не превышает порог срабатывания.

При прогнозировании мощности на педали тормоза уже после 10 % хода педали происходит перенастройка модели (зависимости 2, 4 на рис. 8, точка А и зависимость 3 на рис. 9). Но так как развитая мощность на педали тормоза в динамической стадии не превышает порог срабатывания, происходит возврат к исходным параметрам настройки модели (точка Б, рис. 9).

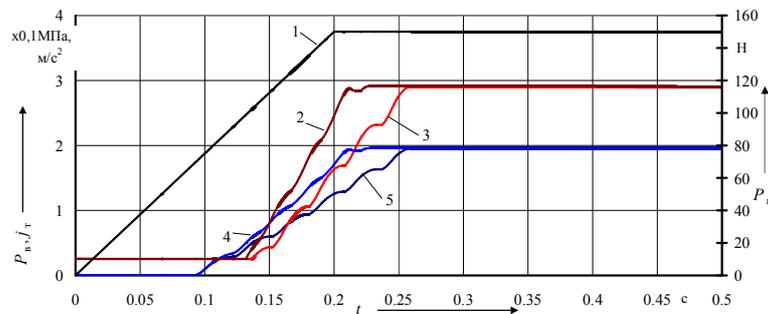


Рис. 8. Изменение параметров торможения автомобиля рабочей тормозной системой с эталонной и перенастраиваемой моделью при быстром, но несильном нажатии на педаль тормоза ($P_n^{\max} = 150 \text{ Н}$, $t_n = 0,2 \text{ с}$): пояснения те же, что и на рис. 6

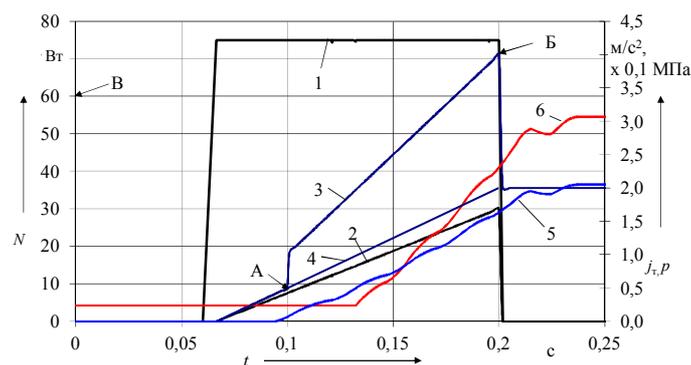


Рис. 9. Изменение параметров в системе управления с перенастраиваемой моделью при быстром, но несильном нажатии на педаль тормоза ($P_n^{\max} = 150 \text{ Н}$, $t_n = 0,2 \text{ с}$): 1 – прогнозируемая мощность на педали тормоза; 2 – развиваемая мощность на педали тормоза; 3 – управляющее давление в модели в случае перенастройки по прогнозированной мощности на педали; 4 – управляющее давление в модели в случае перенастройки по развитой мощности на педали; 5 – управляющее давление в тормозных камерах в случае перенастройки по прогнозированной мощности; 6 – замедление колесной машины в случае перенастройки по прогнозированной мощности; А – момент перенастройки модели; Б – возврат к исходным настройкам модели; В – пороговая мощность на педали тормоза

Выводы

Результаты моделирования процесса торможения автомобиля адаптивной автоматизированной системой с перенастраиваемой моделью показали ее преимущество перед эталонной моделью в случае экстренного торможения. Алгоритм перенастройки модели не оказывает существенного влияния на эффективность торможения автомобиля при экстренном торможении, так как быстродействие тормозной системы ограничивается тормозным приводом. Следует заметить, что алгоритм перенастройки модели по прогнозируемой мощности на педали тормоза имеет незначительное преимущество перед алгоритмом перенастройки по мощности, подведенной к педали при «паническом» торможении – быстром, но не сильном нажатии на педаль тормоза.

Литература

1. Туренко А.Н. Адаптивное тормозное управление колесных машин / А. Н. Туренко, С.Н. Шуклинов // Журнал автомобильных инженеров. – 2010. – № 5 (64). – С. 18–21.
2. Туренко А.Н. Электропневматический привод тормозов с адаптивным управлением / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов, Н.Г. Михалевич // Изв. ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы»: межвуз. сб. науч. ст. – 2011. – Вып. 4, № 12(85). – С. 51–53.
3. Туренко А.Н. Моделирование динамики колесной машины с адаптивным электропневматическим приводом тормозов / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов, Н.Г. Михалевич // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 56. – С. 66–74.
4. Туренко А.Н. Теоретическое и экспериментальное исследование вакуумного усилителя тормозного привода автомобилей: монография / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 220 с.
5. Шуклинов С.Н. Анализ статической характеристики вакуумного усилителя / С.Н. Шуклинов // Вестник МАДИ (ГТУ). – 2009. – Вып. 3 (18). – С. 7–11.
6. Голубовский Ю.И. Сверхусилители / Ю.И. Голубовский // Сигнал. – 1999. – № 7–8. – С. 42–43.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 декабря 2014 г.