

УДК 004.12:629.062

С.Н. Шуклинов, ХНАДУ,
e-mail: sn@khadi.kharkov.ua

СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАКУУМНОГО УСИЛИТЕЛЯ ТОРМОЗОВ С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрена схема тормозной системы автомобиля с частично автоматизированным гидравлическим тормозным приводом. Элемент автоматизации тормозного привода – вакуумный усилитель – оснащен исполнительным устройством системы адаптивного управления. Дано описание статической характеристики вакуумного усилителя с исполнительным устройством системы адаптивного управления и предложена методика определения ее параметров, по условию обеспечения устойчивости управления торможением автомобиля при предельных величинах возмущающих факторов и принятой ошибке управления.

Ключевые слова: вакуумный усилитель тормозов, статическая характеристика, коэффициент усиления, адаптивная система, исполнительное устройство, корректирующее воздействие.

S.N. Shuklinov, KHADI,
e-mail: sn@khadi.kharkov.ua

STATIC CHARACTERISTICS OF VACUUM BRAKE BOOSTERS WITH ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF ACTUATING UNIT

Abstract. In this article the scheme of vehicle's braking system with partially automated hydraulic brake actuator is presented. The element of automated hydraulic brake – vacuum booster is equipped with adaptive control system actuating unit. Static characteristics of vacuum amplifier with actuating unit of adaptive control system is described also method of vehicle brake stability parameters estimation under critical values of perturbing factors and accepted control error control is also depicted.

Key words: vacuum brake booster, static characteristic, boosting ratio, adaptive system, actuation device, corrective action.

Введение

Наиболее перспективными для совершенствования с точки зрения активной безопасности автомобилей являются системы с электронным управлением, наделенные свойствами адаптации к внешним и внутренним возмущающим факторам. В этом случае возможно регулирование реакции на педали тормоза для повышения комфортабельности и точности управления торможением автомобиля при действии внутренних и внешних возмущающих факторах.

Адаптивная автоматизированная система управления торможением позволяет переложить функции адаптации при действии внешних и внутренних возмущающих факторов с человека (водителя) на тормозное управление автомобиля. Функции адаптации тормозного управления выполняет тормозной привод. Проще всего реализовать указанную функцию в тормозном управлении с полностью автоматизированным (электропневматическим или электрогидравлическим, электромеханическим) тормозным приводом. Однако, возможна реализация функции адаптации тормозного управления и для частично автоматизированного тормозного привода, оснащенного модулятором давления или усилителем тормозов с регулируемым коэффициентом усиления.

Анализ последних исследований и постановка задачи

Исследованиями, направленными на изучение и совершенствование статических характеристик вакуумных усилителей тормозного привода занималось достаточно много ученых, инженеров, конструкторов. В одной из последних работ [1] выполнен анализ влияния параметров следящего

устройства на вид статической характеристики вакуумного усилителя тормозов, дана их оценка и предложена перспективный вид статической характеристики, позволяющий улучшить эргономические показатели тормозного управления автомобилем. Авторами работы [2] предложена методика выбора параметров статической характеристики вакуумного усилителя тормозного привода с учетом регулируемости тормозного управления, параметров автомобиля и тормозной системы.

Следует отметить, что параметры автомобиля и его тормозной системы в эксплуатации изменяются. Вследствие этого водителю необходимо адаптироваться к меняющимся характеристикам тормозного управления. Причем некоторые возмущающие параметры водитель может заранее оценить с определенной достоверностью (например, изменение массы автомобиля после загрузки). Влияние других параметров или их сочетание водитель оценивает по замедлению автомобиля только во время процесса торможения. В этом случае у водителя остается очень мало времени на адаптацию к изменившимся характеристикам тормозного управления, что отрицательно отражается на безопасности движения.

В этой связи представляется актуальным придание свойств адаптивности тормозному управлению автомобиля путем коррекции характеристики вакуумного усилителя тормозного привода с помощью исполнительного устройства адаптивной системы управления.

Схема тормозной системы с частично автоматизированным приводом

Тормозная система с частично автоматизированным тормозным приводом, в котором установлен вакуумный усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, позволяет реализовать адаптивное управление. Схема такой тормозной системы представлена на рис. 1. Следует заметить, что параметры статической характеристики тормозного привода, в этом

случае, в основном определяются параметрами статической характеристики вакуумного усилителя.

В тормозном управлении, схема которого представлена на рис. 1, исполнительное устройство адаптивной автоматизированной системы сформировано в вакуумном усилителе тормозного привода.

Очевидно, что конструкция вакуумного усилителя тормозного привода должна изменена. Кроме изменения конструкции вакуумного усилителя систему тормозного управления необходимо дополнить датчиками усилия на педали тормоза 6 (рис. 1) и ее перемещения 7.

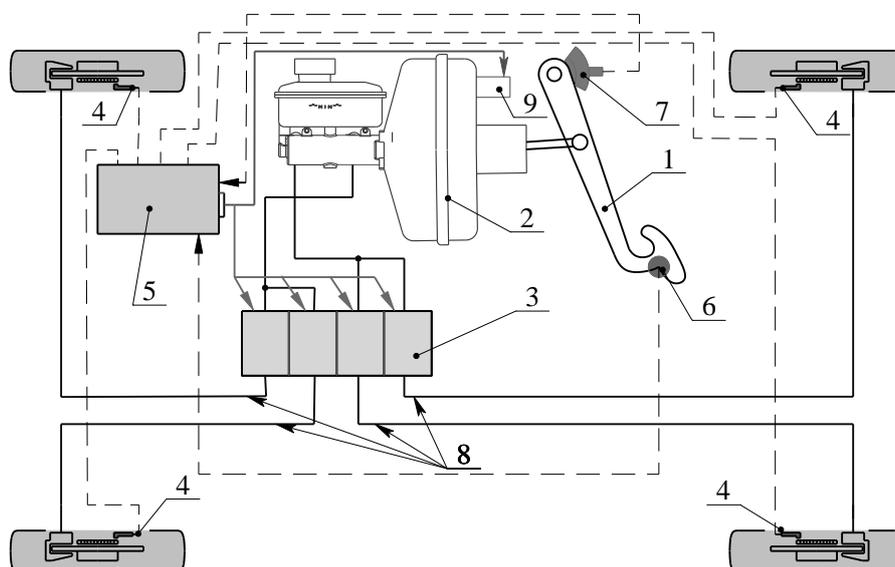


Рис. 1. Схема тормозной системы с частично автоматизированным приводом: 1 – педальный привод; 2 – главный тормозной цилиндр с вакуумным усилителем тормозов; 3 – модулятор АБС; 4 – датчики частоты вращения колес; 5 – блок управления; 6 – датчик усилия на педали тормоза; 7 – датчик перемещения педали тормоза; 8 – трубопроводы; 9 – электромагнит управления клапанами исполнительного устройства адаптивной системы

Если при торможении автомобиля тормозные силы на колесах меньше максимально возможных в данных условиях сил сцепления, то блок управления 5 выполняет расчет необходимого корректирующего воздействия в соответствии с алгоритмом управления и вырабатывает управляющие сигналы для электромагнитов впускного и выпускного

клапанов. Корректирующее воздействие формируется на поршне исполнительного устройства 2 адаптивной автоматизированной системы, схема которого представлена на рис. 2. Поршень исполнительного устройства 2 имеет механическую связь с поршнем управления 3 вакуумным усилителем. Вследствие этого в случае служебного торможения на поршне управления вакуумным усилителем формируется управляющее воздействие в виде суммы задающего воздействия водителя и корректирующего воздействия исполнительного устройства адаптивной автоматизированной системы. Если качение колес автомобиля переходит в режим с критическим скольжением, то в блоке управления реализуется алгоритм управления АБС, при этом адаптивная система сохраняет постоянной величину коэффициента эффективности тормозного привода.

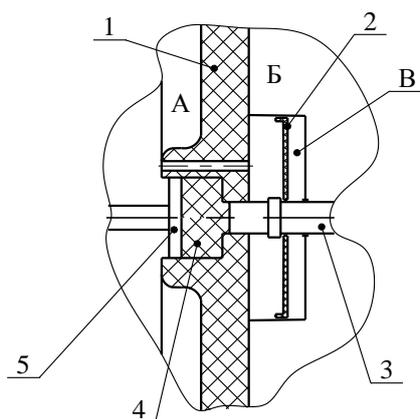


Рис. 2. Схема исполнительного устройства адаптивной автоматизированной системы тормозного управления: 1 – поршень вакуумного усилителя; 2 – поршень исполнительного устройства адаптивной системы; 3 – поршень управления вакуумного усилителя; 4 – буфер; 5 – шток; А, Б – соответственно вакуумная и атмосферная полости вакуумного усилителя; В – полость управления исполнительного устройства

Определение параметров статической характеристики вакуумного усилителя тормозного привода

Параметры исполнительного устройства определяются из условия обеспечения алгоритма настройки (1) адаптивной системы с эталонной

моделью без обратной связи в основном контуре управления [3].

Указанный алгоритм обеспечивает устойчивость управления торможением при заданных величинах возмущающих факторов и принятой ошибке управления:

$$\begin{aligned} \text{если } \dot{i} x > \frac{k_m}{k} \dot{q} - \frac{a_{1m} - a_1}{k} \dot{y}, \quad \text{то } \Rightarrow \xi < C_0 q + C_2 \dot{\epsilon} + B_0 y \\ \text{если } \dot{i} x = \frac{k_m}{k} \dot{q} - \frac{a_{1m} - a_1}{k} \dot{y}, \quad \text{то } \Rightarrow \xi = C_0 q + C_2 \dot{\epsilon} + B_0 y, \\ \text{если } \dot{i} x < \frac{k_m}{k} \dot{q} - \frac{a_{1m} - a_1}{k} \dot{y}, \quad \text{то } \Rightarrow \xi > C_0 q + C_2 \dot{\epsilon} + B_0 y \end{aligned} \quad (1)$$

где $\dot{i} x$ – функция скорости изменения управляющего воздействия;

k, k_m – коэффициенты эффективности тормозного управления автомобиля и тормозного управления эталонной модели автомобиля;

q, \dot{q} – управляющее воздействие и скорость изменения управляющего воздействия эталонной модели; a_1, a_{1m} – коэффициенты, характеризующие нестационарность процесса движения автомобиля и движения эталонной модели; y, \dot{y} – соответственно скорость и замедление автомобиля;

ξ – корректирующее воздействие, приведенное к педали тормоза;

$\dot{\epsilon}$ – ошибка управления (отклонение желаемого значения замедления автомобиля от реализуемого значения); C_0, C_2, B_0 – коэффициенты алгоритма управления [3].

Максимальное значение корректирующего воздействия ξ_{\max} на педали тормоза должно определяться:

– для максимально возможного, с эргономической точки зрения, управляющего воздействия и скорости изменения управляющего воздействия эталонной модели;

– для ошибки управления, не превосходящей порог различия водителем;

– для максимально возможной эффективности торможения, при которой сохраняется пропорциональность между управляющим воздействием и замедлением автомобиля;

– для скорости движения автомобиля, при которой сила сопротивления воздуха не оказывает существенного влияния на замедление автомобиля.

При этом необходимо учитывать, что корректирующее воздействие, формируемое исполнительным устройством, прикладывается не к педали тормоза, а к поршню управления 3 вакуумного усилителя (см. рис. 2). Площадь поршня $S_{\text{иу}}$, мм², исполнительного устройства адаптивного управления определяется из условия формирования максимального значения корректирующего воздействия

$$S_{\text{иу}} \geq \frac{\xi_{\text{пу}}^{\text{max}}}{\Delta p}, \quad (2)$$

где $\xi_{\text{пу}}^{\text{max}} = \xi^{\text{max}} \cdot i_{\text{п}}$ – максимальное значение корректирующего усилия на поршне управления, Н (ξ^{max} – максимальное значение корректирующего воздействия на педали тормоза; $i_{\text{п}}$ – передаточное число педального привода); Δp – перепад давления на поршне исполнительного устройства адаптивного управления, МПа.

Статическая характеристика вакуумного усилителя тормозов, представленная на рис. 3, отражает зависимость усилия на штоке усилителя от усилия на его толкателе при различной степени активации исполнительного устройства адаптивной системы. Отрезок В является внешней статической характеристикой вакуумного усилителя, так как соответствует следящему действию усилителя при максимальном значении корректирующего усилия $\xi_{\text{пу}}^{\text{max}}$ на поршне исполнительного устройства адаптивного управления.

2 – 2' – 3' – 3 представляет пространство допустимых статических характеристик вакуумного усилителя с адаптивным управлением при следящем действии.

Отрезок 3' – 3 – 4 отражает статическую характеристику вакуумного усилителя при его насыщении по давлению. Очевидно, что корректирующее воздействие эффективно в области следящего действия усилителя. При насыщении усилителя по давлению корректирующее усилие $\xi_{\text{пн}}$ не изменяет вид статической характеристики, так как усилие от поршня исполнительного устройства замыкается на ступице поршня усилителя.

С учетом положений изложенных в работе [4] можно определить коэффициент усиления вакуумного усилителя тормозного привода с исполнительным устройством адаптивной автоматизированной системы управления

$$K_y = \frac{F_{\text{ш}}}{F_{\text{т}}} = \text{tg}\alpha + \frac{F_{\text{шо}} - F_{\text{то}} \cdot \text{tg}\alpha + \xi_{\text{пн}} \cdot \text{tg}\alpha}{F_{\text{т}}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{ш}}, F_{\text{т}}$ – установившееся значение усилия на штоке и толкателе

вакуумного усилителя тормозного привода; $\text{tg}\alpha = \frac{F_{\text{ш}} - F_{\text{шо}}}{F_{\text{т}} - F_{\text{то}}}$ – коэффициент

усиления в случае отсутствия нелинейностей ($F_{\text{то}}$ – начальная нечувствительностью усилителя; $F_{\text{шо}}$ – участок характеристики без следящее действие усилителя).

В случае адаптивного управления торможением величина корректирующего воздействия $\xi_{\text{пн}}$, подведенного к поршню управления вакуумным усилителем, определяется возмущающими факторами и величиной задающего воздействия управления, формируемого водителем. В частности при торможении автомобиля с полной нагрузкой характеристика вакуумного усилителя тормозного привода в области следящего действия соответствует лучу B_a (рис. 4).

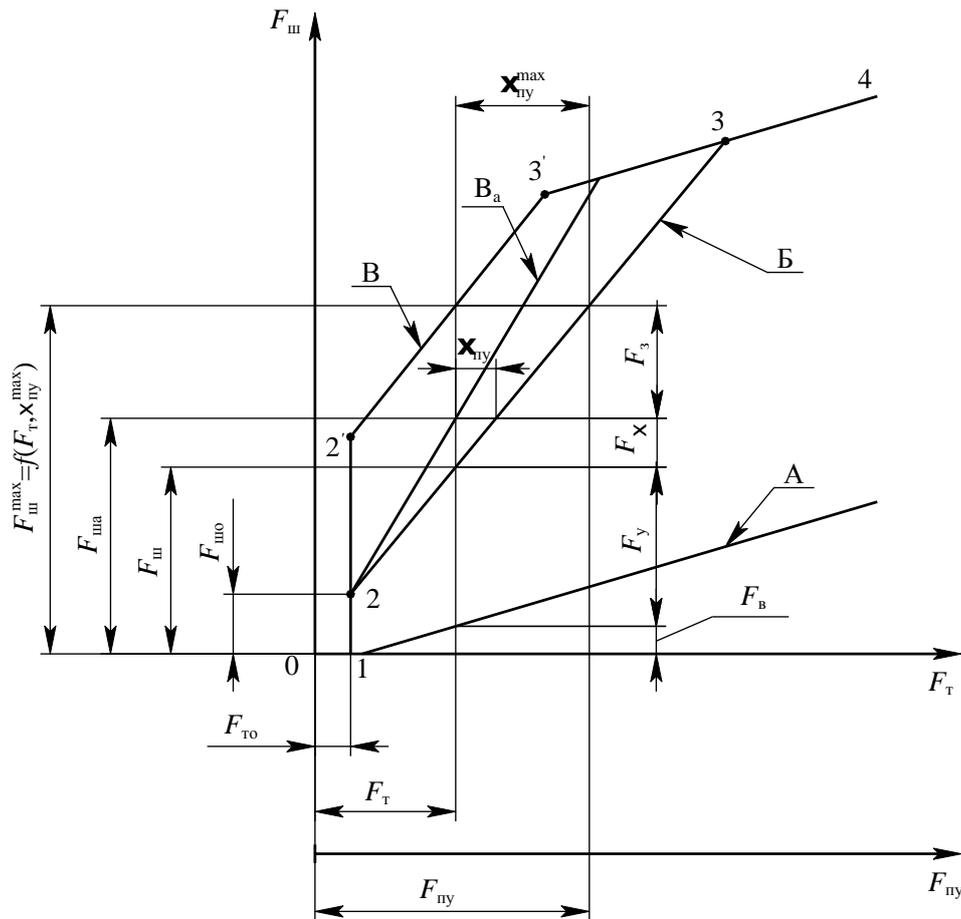


Рис. 4. Статическая характеристика вакуумного усилителя тормозов с адаптивным управлением: А – без подведения энергии вакуума; Б – с подведением энергии вакуума при торможении автомобиля без загрузки; В – с подведением энергии вакуума и максимально активированным адаптивным управлением; В_а – при адаптивном управлении торможением автомобиля с полной массой; F_{пу} – усилие на поршне управления; x_{пу} – доля усилия на поршне управления, сформированное поршнем исполнительного устройства адаптивной системы; F_в – доля усилия на штоке F_{ша}, созданная водителем; F_х – дополнительное усилие на штоке F_{ша}, сформированное исполнительным устройством адаптивной системы при установившемся замедлении автомобиля с полной массой; F_з – запас силы на штоке; F_{то} – начальная нечувствительность усилителя; F_{ш0} – участок характеристики без следящего действия усилителя

В этом случае на штоке усилителя формируется усилие

$$F_{\text{ша}} = F_{\text{в}} + F_{\text{у}} + F_{\xi}, \quad (4)$$

где F_{ξ} – усилие на штоке усилителя, пропорциональное корректирующему воздействию $\xi_{\text{пу}}$ на поршне исполнительного устройства адаптивной

системы (определяется параметрами следящего устройства вакуумного усилителя).

Очевидно, что адаптивное управление при одинаковом усилии на толкателе F_T , создаваемым водителем, обеспечивает на штоке вакуумного усилителя формирование усилий $F_{ш}$, $F_{ша}$ в соответствии со степенью загрузки автомобиля, что способствует получению ожидаемого замедления автомобиля и повышению безопасности движения. При этом на штоке вакуумного усилителя имеется запас силы F_z , определяемый максимальным корректирующим воздействием $\xi_{пу}^{\max}$.

Указанный запас силы на штоке усилителя может быть реализован в случае действия дополнительных возмущающих факторов. Например, при снижении эффективности тормозного привода в случае выхода из строя одного из тормозных контуров или при снижении эффективности тормозных механизмов. В случае максимального воздействия возмущающих факторов при усилии на толкателе F_T на штоке вакуумного усилителя сформируется значение соответствующее внешней характеристике усилителя.

Выводы

Предложенная методика позволяет конструктору:

– определить параметры исполнительного устройства адаптивной системы управления с эталонной моделью из условия обеспечения устойчивости управления торможением автомобиля при заданных максимальных величинах возмущающих факторов и принятой ошибке управления;

– определить область допустимых статических характеристик вакуумного усилителя тормозов с исполнительным устройством адаптивной системы управления.

Список литературы

1. Шуклинов С.Н. Анализ статической характеристики вакуумного усилителя // Вестник МАДИ (ГТУ). 2009. Вып. 3 (18). С. 7–11.
2. Шуклинов С.Н., Власенко А.А. Выбор параметров статической характеристики вакуумного усилителя тормозного привода // Вестник НТУ ХПИ «Автомобиле- и тракторостроение». 2012. Вып. 66 (966). С. 78–82.
3. Туренко А.Н., Шуклинов С.Н., Вербицкий В.И. Замедление колесной машины как параметр оценки состояния системы адаптивного управления // Сб. науч. тр. ХНАДУ «Автомобильный транспорт». Вып. 31. 2012. С. 7–12.
4. Шуклинов С.Н. Коэффициент усиления вакуумного усилителя тормозов // Известия МГТУ МАМИ. 2011. Вып. 1 (11). С. 106–109.

References

1. Shuklinov S.N. *Vestnik MADI*, 2009, no. 3 (18), Moscow, p. 7–11.
2. Shuklinov S.N., Vlasenko A.A. *Vestnik NTU HPI «Avtomobile- i traktorostroenie»*, Kharkov, 2012, no. 66 (966), p. 78–82.
3. Turenko A.N., S.N. Shuklinov S.N., Verbickiy V.I. *Zamedlenie kolesnoy mashiny kak parametr ocenki sostoyaniya sistemy adaptivnogo upravleniya*, Sbornik nauchnyh trudov HNADU „Avtomobilnyy transport”, Kharkov, 2012, no. 31, p. 7–12.
4. Shuklinov S.N. *Izvestiya MGTU MAMI*, Moscow, 2011, no. 1 (11), 106–109.