

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Скляров Николай Вячеславович



УДК 629.062

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ  
ТОРМОЗНЫХ ПРИВОДОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Специальность 05.22.02 – автомобили и тракторы

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Харьков – 2006

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете Министерства образования и науки Украины.

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Шуклинов Сергей Николаевич,**  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры автомобилей.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Подригalo Михаил Абович,**  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, заведующий кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин; кандидат технических наук, доцент  
**Мандрыка Владимир Ростиславович,**  
Харьковский национальный технический университет «ХПИ», доцент кафедры автомобиле- и тракторостроения.

**Ведущая организация:** Национальный транспортный университет, кафедра «Автомобили», Министерство образования и науки Украины, г. Киев

Защита состоится **«13» декабря** 2006 г. в **«14»** на заседании специализированного ученого совета Д 64.059.02 при Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете по адресу:

Украина, 61002, г. Харьков, ул. Петровского, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского национального автомобильно-дорожного университета по адресу: Украина, 61002, г. Харьков, ул. Петровского, 25.

Автореферат разослан

**«11» Ноября** 2006 г.

Ученый секретарь  
специализированного ученого совета

И.С. Наглюк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Вступление.** Анализ состояния безопасности движения в Украине свидетельствует о необходимости неотложного решения проблем аварийности. Значительное количество дорожно-транспортных происшествий происходит из-за недостаточной активной безопасности автотранспортных средств, существенно определяемой эффективностью тормозной системы автотранспортного средства.

**Актуальность темы** заключается в том, что для уменьшения аварийности автотранспортных средств в процессе торможения необходимо реализовать ряд мероприятий в сфере научно-исследовательского обеспечения по совершенствованию тормозных приводов. Одним из таких направлений является развитие методик разработки конкурентоспособных вакуумных усилителей тормозного привода (ВУТП), которые производятся в Украине. В настоящее время этому препятствуют недостаточные знания об их рабочих процессах, а также отсутствие научно обоснованных обобщенных критерии оценки эффективности.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертационная работа является составной частью исследований Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) по проблеме “Безопасность дорожного движения” в соответствии с постановлением Национального совета по вопросам безопасности жизнедеятельности населения №3 от 25 1997р декабря. “О соответствии требований охраны труда, машин, транспортных средств, оборудование которых изготавливается в Украине” и относится к комплексной теме исследований кафедры автомобилей ХНАДУ “Системное проектирование и конструирование транспортных средств, обеспечивающих необходимую активную безопасность дорожного движения”. Работа выполнялась в соответствии с договором №3/2003/156 от 6.08.2003р. с ЗАО Краснодонский завод “Автоагрегат” “Разработка модульной конструкции вакуумного усилителя тормозов”.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является определение наиболее эффективных структур и функциональных связей элементов, а также их параметров для синтеза перспективных схем вакуумных усилителей тормозного привода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать концепцию и критерии оценки эффективности вакуумных усилителей тормозного привода автомобилей;
- выполнить теоретическое исследование функциональных связей и рабочих процессов вакуумных усилителей тормозного привода, влияющих на его эффективность;
- разработать конструкцию и провести экспериментальное исследование вакуумного усилителя тормозного привода повышенной эффективности.

**Объект исследования** – рабочий процесс вакуумного усилителя тормозного

привода.

**Предмет исследования** – повышение эффективности вакуумных усилителей тормозного привода.

**Методы исследований.** Для определения состояния вопроса и постановки задач исследований использовались методы сбора, выбора и анализа информации. В теоретических исследованиях рабочих процессов ВУТП использован аналитический метод математического моделирования. Подтверждение теоретических положений выполнено методом экспериментальных исследований.

**Научная новизна полученных результатов.** Состоит в том, что: впервые проведен структурный анализ и определены взаимосвязи между элементами вакуумного усилителя, что позволило с использованием предложенных критериев определить его рациональную структуру; уточнены закономерности взаимодействия элементов конструкции и их влияние на рабочий процесс, а также эффективность вакуумных усилителей тормозного привода.

**Практическое значение полученных результатов** содержится в принятых к использованию ОАО Полтавский автоагрегатный завод и ЗАО Краснодонский завод “Автоагрегат”:

- методиках определения параметров вакуумных усилителей тормозного привода;
- методиках теоретических и экспериментальных исследований рабочих процессов и характеристик вакуумных усилителей тормозного привода;
- критериях оценки эффективности конструкции вакуумных усилителей тормозного привода;
- концепции модульной конструкции вакуумных усилителей тормозного привода повышенной эффективности.

Разработанная конструкция ВУТП, принята к внедрению в производство ЗАО Краснодонский завод “Автоагрегат”, с последующим использованием на автомобилях УАЗ. Научные и практические положения работы используются в учебном процессе подготовки инженеров – конструкторов по специальности 7.090211 “Колесные и гусеничные транспортные средства”. В общем плане практическое использование полученных результатов направлено на достижение социального эффекта по улучшении условий труда водителей и повышении активной безопасности автомобилей.

**Личный вклад соискателя.** Все полученные результаты, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно и в основном изложены в работах опубликованных без соавторов [1, 2].

В работах с соавторами соискатель:

- разработал математические модели ВУТП и тормозного привода с ВУТП, а также выполнил исследование моделей на ПЭВМ [3, 8];
- выполнил анализ конструкции ВУТП и предложил направления совершенствования двухкамерного ВУТП [4];
- разработал критерии оценки эффективности ВУТП [6];

- разработал методики и оборудование для выполнения экспериментальных исследований ВУТП [5, 7].

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на: научно-технической и научно-методической сессии Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, Харьков, 2002р.; научной конференции ХНАДУ, Харьков, 2003р.; международной научно-технической конференции “Автомобильный транспорт в XXI веке”, Харьков, ХНАДУ, 2003р.; международной научно-технической конференции “Транспорт, экология–устойчиво развитие”, Болгария, Варна, ТУ-Варна, 2004р.; международном научно-практическом семинаре “Актуальные вопросы теории и практики судебной автотехнической экспертизы” в Харьковском НИИ судебной экспертизы, Харьков, 2004р.; международной научно-технической конференции “Технические и экономические перспективы развития автотранспортного комплекса и дорожного строительства”, ХНАДУ, Харьков, 2005р.

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе 7 – в специальных изданиях, утвержденных перечнем ВАК Украины.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из вступления, четырех разделов, выводов, списка использованных источников и приложений.

Общий объем работы 194 страницы, в том числе 99 рисунков на 53 страницах, 23 таблицы на 10 страницах, и три приложения на 21 странице. Список использованных литературных источников содержит 114 наименований на 10 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулировано цель и задачи исследования, определены основные положения научной новизны и практической ценности.

В первом разделе рассмотрено состояние научной задачи и направления ее практического решения.

Анализ и оценку показателей торможения автотранспортных средств выполнено с использованием системного подхода и учетом деятельности водителя в процессе торможения. Развитие тормозных систем непосредственно связано с возможностями и пожеланиями водителей. Улучшение условий торможения обеспечивается использованием усилителей в гидравлическом тормозном поводе. Наибольшее распространение получили ВУТП. Конструкции ВУТП чрезвычайно разнообразны и изменяются в зависимости от использования. Для выяснения направлений развития конструкции выполнена классификация ВУТП и проанализированы работы по их созданию и исследованию. В результате изучения состояния, использования и развития ВУТП выделены следующие обобщающие проблемы:

- выполненные работы отображают исследование тормозных систем в основном с гидравлическими усилителями;
- отсутствуют обобщенные научно обоснованные критерии оценки эффективности ВУТП;
- недостаточно исследованным является влияние рабочего процесса усилителей на их эффективность.

Таким образом, исходя из результатов анализа состояния вопроса, обоснована цель и сформулированы задачи исследований.

Во втором разделе выполнено исследование оценки эффективности и функциональных связей элементов ВУТП.

Аналогичные конструкции принято сравнивать с использованием удельных показателей. Поэтому, для оценки эффективности ВУТП целесообразно использовать следующие критерии.

Оценку возможности конструкции выполнять работу предлагается критериями работы единицы массы  $\bar{m}$  (1) и единицы объема  $\bar{V}$  (2).

$$\bar{m} = \frac{F_{\text{ш, max}} \cdot X_{\text{ш, max}}}{m_{\text{БУ}}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{ш, max}}$  – максимальное усилие на выходе ВУТП, Н;

$X_{\text{ш, max}}$  – максимальный ход штока ВУТП, м;

$m_{\text{БУ}}$  – масса ВУТП, кг.

$$\bar{V} = 1000 \cdot \frac{F_{\text{ш, max}} \cdot \hat{O}_{\text{ш, max}}}{V_{\text{раб}}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{БУ}} = S_{\text{max}} \cdot L$  – габаритный объем ВУТП, м<sup>3</sup>;

$S_{\text{max}}$  – площадь максимального диаметрального сечения, м<sup>2</sup>;

$L$  – размер между привалочными плоскостями, м.

Работа единицы массы характеризует эффективность конструкции по использованию возможностей материалов под нагрузкой. Работа единицы объема характеризует эффективность использования пространства ВУТП для формирования выходного усилия. Для сравнительной оценки скорости действия предлагаются критерии мощности единицы массы  $m_N$  (3) и мощности единицы объема  $m_V$  (4).

$$m_N = \frac{F_{\text{ш}} \cdot X_{\text{ш}}}{m_{\text{БУ}} \cdot [t]}, \quad (3)$$

$$m_V = 1000 \cdot \frac{F_{\text{ш}} \cdot X_{\text{ш}}}{V_{\text{БУ}} \cdot [t]}, \quad (4)$$

где  $[t]$  – нормативное время срабатывания ВУТП, с.

На рис. 1 приведенная сравнительная оценка эффективности серийных двухкамерных ВУТП ГАЗ и УАЗ, а также трех вариантов перспективных разработок по критериям работы и мощности.

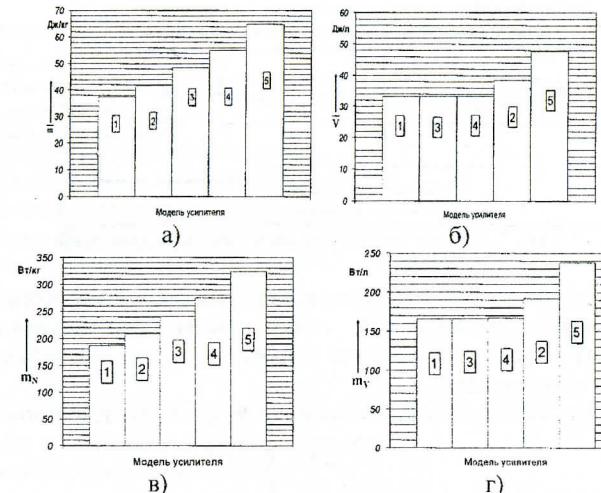


Рис. 1. Оценка эффективности вакуумных усилителей разнообразной конструкции по критериям:

а) работы единицы массы  $\bar{m}$ , Дж/кг;

б) работы единицы объема  $\bar{V}$ , Дж/л;

в) мощности единицы массы  $m_N$ , Вт/кг;

г) мощности единицы объема  $m_V$ , Вт/л;

для двухкамерных вакуумных усилителей:

1 – УАЗ; 2 – ГАЗ; 3 – ХАДИ-УАЗ; 4 – ХНАДУ; 5 – ХАДИ.

Сравнительная оценка свидетельствует, что лучшей является перспективная разработка под условным обозначением ХАДИ. Наиболее показатели ВУТП УАЗ.

Качество следящего действия предлагается оценивать по критерию нечувствительности  $K_F$

$$K_F = \frac{F_T^{HO} - F_T^{PZ}}{F_T^{HO}}, \quad (5)$$

где  $F_T^{HO}$  – усилие на толкателе в момент открытия атмосферного клапана;

$F_T^{PZ}$  – усилие в момент полного закрытия атмосферного клапана.

Таким образом, при уменьшении  $K_F$ , возможно более качественное дозирование тормозного усилия и тем более эффективна конструкция ВУТП.

Для последующего рассмотрения и исследования свойств ВУТП предложена их обобщенная структура, приведенная на рис.2.



Рис. 2. Общая структура вакуумных усилителей

Существенную роль в организации рабочего процесса выполняет распределительное устройство. Из обзора конструкций выяснилось, что в большинстве ВУТП распределительные устройства имеют клапанное выполнение с одной рабочей поверхностью.

В таком случае для постоянного режима справедливо отношение:

$$\left( \frac{\mu_1 \cdot f_1}{\mu_2 \cdot f_2} \right)^2 = \frac{p_a - p_e}{p_0 - p_a}, \quad (6)$$

где  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты расходов через атмосферный и вакуумный клапаны;

$f_1, f_2$  – площади проходных сечений клапанов;

$p_0$  – атмосферное давление;

$p_e, p_a$  – давление в вакуумной и атмосферной полостях.

Левая часть уравнения (6) зависит от конструкции распределительного устройства и является функцией движения толкателя. Приведенная зависимость имеет решение в отдельных случаях при наличии опытных данных. В связи с этим для точного и достоверного анализа процесса работы распределительного устройства необходима разработка специальной модели.

В значительной степени работа распределительного устройства зависит от взаимодействия с другими элементами усилителя. В первую очередь это относится к следящему устройству. Следящее устройство, имея свойства чувствительного элемента, выполняет сравнение управляющего действия распределительного устройства с входным воздействием. Наиболее распространены два варианта следящих устройств: с рычагами и с упругой реактивной шайбой. Учитывая зависимость коэффициента усиления от конструкции и параметров следящего устройства, были определены аналитические зависимости влияния следящих устройств на формирование коэффициента усиления. Выяснено, что для двухкамерных ВУТП возможно три варианта взаимного размещения исполнительных и следящих устройств.

Для установления взаимных связей распределительного, следящего и исполнительных устройств разработана методика функционального синтеза ВУТП. Учитывая объединение структурных частей силовыми и кинематическими связями рассмотрено их равновесие:

– для толкателя

$$F_T + F_{KA} - F_A - F_B - F_R - m_T \cdot \frac{d^2 x_T}{dt^2} - f_T \cdot \frac{dx_T}{dt} = 0, \quad (7)$$

где  $F_T$  – усилие на толкателе;

$F_{KA}$  – усилие от атмосферного клапана;

$F_A$  – усилие пружины атмосферного клапана;

$F_B$  – усилие пружины вакуумного клапана;

$F_R$  – реакция следящего устройства;

$m_T$  – масса толкателя;

$f_T$  – коэффициент демпфирования толкателя;

$x_T$  – перемещение толкателя;

– для поршня

$$F_P + F_{KB} + F_A + F_B + F_{CP} - F_{PP} - F_H - m_P \cdot \frac{d^2 x_P}{dt^2} - f_P \cdot \frac{dx_P}{dt} = 0, \quad (8)$$

где  $F_P$  – усилие на поршне от перепада давления;

$F_{KB}$  – усилие от вакуумного клапана;

$F_{CP}$  – усилие на ступице поршня;

$F_{PP}$  – усилие обратной пружины поршня;

$F_H$  – усилие нагрузки;

$x_P$  – перемещение поршня;

– для штока

$$\sum F_I + \sum F_T - F_H - m_O \cdot \frac{d^2 x_O}{dt^2} - f_O \cdot \frac{dx_O}{dt} - \tilde{N}_I \cdot \tilde{o}_O = 0, \quad (9)$$

где  $\sum F_P, \sum F_T$  – сумма усилий на поршне и толкателе;

$C_H$  – жёсткость нагрузки.

Приведенные аналитические зависимости с учётом преобразования Лапласа объединяют взаимодействие структурных элементов в общую схему функционального синтеза ВУТП, размещенную на рис. 3.

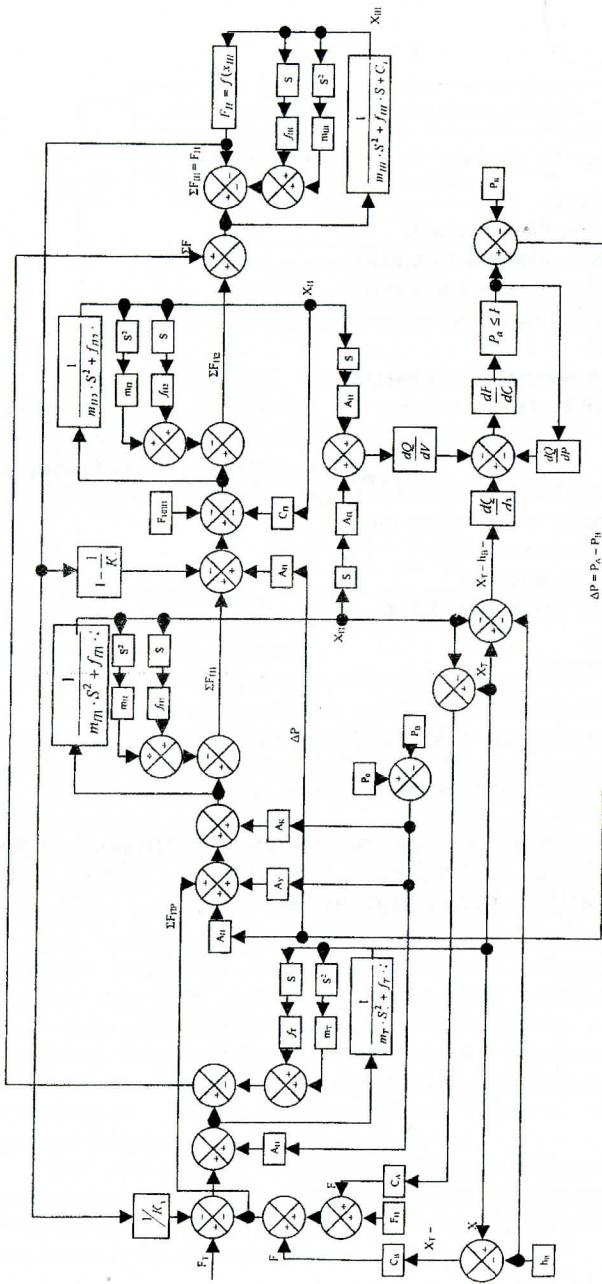


Рис. 3. Схема функционального синтеза ВУТП

Разработанная схема позволяет анализировать влияние на рабочий процесс и эффективность, взаимодействие и параметры составных элементов для разных по конструкции ВУТП.

Разработанная обобщенная блок – схема также позволяет:

- выполнить синтез структуры вакуумного усилителя в соответствии с задачами проектирования;
- определить функциональные связи элементов;
- определить начальные и граничные условия;
- выполнить описание рабочих процессов элементов вакуумных усилителей.

Кроме этого она является основой последующего детального моделирования и теоретических исследований перспективного двухкамерного ВУТП. Схема двухкамерного ВУТП, разработанного на основе выполненного синтеза, приведенная на рис. 4.

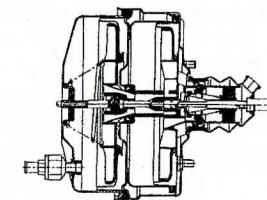


Рис. 4. Схема перспективного двухкамерного ВУТП

В третьем разделе проведены теоретические исследования рабочего процесса ВУТП.

Разработанная математическая модель выполнена на основе результатов анализа и синтеза составных элементов ВУТП, с использованием газодинамической модели. Особенности рабочего процесса рассмотрены с учетом газодинамической модели, показанной на рис. 5. В соответствии с схемой рис. 5. ВУТП имеет корпус, разделенный перегородкой на две камеры. Камеры разделены поршнями на полости 4, 5, 8 и 9. Полости 9 и 5 постоянно соединены с источником разрежения.

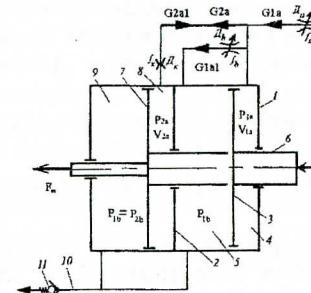


Рис. 5. Схема газодинамической модели двухкамерного ВУТП

Соединение полостей 4 и 8 зависит от режима работы. Сопротивление воздуху между полостями зависит от сечения дросселей  $D_a$ ,  $D_b$  и  $D_c$ .

Математическая модель динамического состояния толкателя имеет вид

$$F_T + F_{KH} - M_T \cdot \ddot{X}_T - k_T \cdot (\dot{X}_T - \dot{X}_1) - F_A - F_B - F_{TP} - F_H = 0. \quad (10)$$

В процессе движения толкателя без изменения остается усилие от клапана  $F_{KH}$ . Сила трения толкателя относительно поршня имеет нелинейный характер

$$F_{TP1} = \begin{cases} F_{TP1} \cdot \text{sign}(\dot{X}_T - \dot{X}_1) & \text{при } \dot{X}_T \neq \dot{X}_1 \\ F_{TP1} = 0 & \text{при } \dot{X}_T = \dot{X}_1 \end{cases}. \quad (11)$$

Относительное смещение толкателя и поршня приводит к срабатыванию распределительного устройства и массовый расход воздуха в атмосферные полости имеет зависимость

$$G_a = f_a \cdot p_a \cdot V_{kp} \cdot \varphi(\sigma). \quad (12)$$

Расходная функция  $\varphi(\sigma)$  принята в следующем виде

$$\varphi(\sigma) = \sqrt{\frac{1 - \sigma_a^2}{2 \cdot k \cdot (\xi_a - \ln \sigma_a)}}, \quad (13)$$

а коэффициент сопротивления атмосферного клапана

$$\xi_a = 0,55 + 4 \cdot \left( \frac{b_f}{d_a} - 0,1 \right) + 0,176 \cdot \left( \frac{d_a}{h_{ka}} \right)^2. \quad (14)$$

В модели приняты следующие допущения: разрежение в вакуумных полостях постоянно, и температурный режим также неизменный.

Изменение давления в атмосферных полостях приводит к формированию дополнительных усилий на поршнях усилителя. Поскольку в исследуемом ВУТП поршни не имеют жесткой связи, то при разработке модели возникла необходимость в подтверждение гипотезы о движении поршней без отрыва друг от друга в течении рабочего процесса.

Для теоретического подтверждения данной гипотезы уравнения динамического состояния поршня первой камеры

$$M_1 \cdot \ddot{X}_1 + f_1 \cdot \dot{X}_1 + R = S_1 \cdot \Delta P + f_{T1} \cdot (\dot{X}_T - \dot{X}_1) + R_i + S_o \cdot (D_0 - D_b), \quad (15)$$

заменено на уравнение относительно реакции динамической составляющей усилия второго поршня. Условием отсутствия разрыва контакта является значение для реакции между поршнями  $R > 0$ . Данному условию отвечают следующие соотношения:

$$S_1 \cdot (P_{1a} - P_{1b}) + f_{T1} \cdot (\dot{X}_T - \dot{X}_1) + F_{1b} - (S_o - S_{1a}) \cdot (P_0 - P_b) + S_o \cdot (P_0 - P_{1b}) - f_1 \cdot \dot{X}_1 - M_1 \cdot \ddot{X}_1 \leq 0, \quad (16)$$

$$\ddot{X}_1 \leq \frac{S_1 \cdot (P_{1a} - P_{1b}) + f_{T1} \cdot (\dot{X}_T - \dot{X}_1) + F_{1b} - (S_o - S_{1a}) \cdot (P_0 - P_b) + S_o \cdot (P_0 - P_{1b}) - f_1 \cdot \dot{X}_1}{M_1}. \quad (17)$$

Результаты расчёта выражений (15), (16), (17) с использованием приложения Simulink среды MATLAB в виде графической зависимости реакции между поршнями в процессе торможения показана на рис. 6.

Приведенная зависимость теоретически подтверждает гипотезу про движение поршней без отрыва друг от друга в двухкамерном вакуумном усилителе.

Учитывая полученное подтверждение, упрощается математическая модель двухкамерного ВУТП. Модель, учитывающая массы отдельных поршней, преобразована в одномассовую модель.

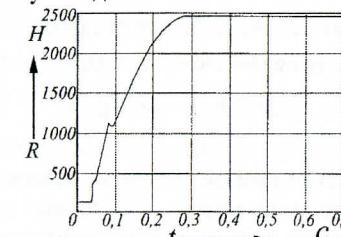


Рис. 6. Зависимость  $R = f(t)$

Усилие на поршнях формируется за счет разницы давления. Величина давления в атмосферных полостях изменяется в зависимости от массовых расходов воздуха, а также изменения объемов полостей в соответствии с уравнениями:

$$\frac{dP_{1a}}{dt} = \frac{G_{1a} - S_1 \cdot P_{1a} \cdot \dot{X}_1 \cdot k}{V_{1a} + S_1 \cdot X_1}, \quad (18)$$

$$\frac{dP_{2a}}{dt} = \frac{G_{2a} - S_2 \cdot P_{2a} \cdot \dot{X}_1 \cdot k}{V_{2a} + S_2 \cdot X_1}. \quad (19)$$

Связь между распределительным и исполнительным устройствами выполняет следящее устройство. Схема наиболее распространенного следящего устройства отображена на рис. 7.

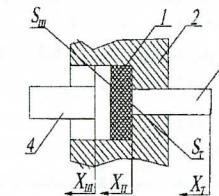


Рис. 7. Схема исследуемого следящего устройства:  
 $X_T, X_P, X_W$  – перемещение толкателя, поршня и штока соответственно;  
 $S_T, S_W$  – площади реактивной шайбы 1, взаимодействующие с толкателем и штоком соответственно.

При работе ВУТП в реактивной шайбе 1 возникает давление. Изменение давления зависит от взаимного положения толкателя 3, поршня 2 и штока 4 и может быть описано следующим математическим выражением:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{[\dot{X}_I \cdot (S_\theta - S_T) + \dot{X}_T \cdot S_T - \dot{X}_\theta \cdot S_\theta] \cdot E}{V_{D\theta}}, \quad (20)$$

с другой стороны

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\dot{F}_S}{S_\theta}, \quad (21)$$

где  $\dot{F}_S$  – скорость изменения усилия на штоке за зависимостью  $\dot{F}_S = f(X_{III})$

В таком случае скорость перемещения штока имеет вид

$$\dot{X}_{III} = \frac{\dot{X}_T \cdot (S_{III} - S_T) + \dot{X}_T \cdot S_T - \frac{dP}{dt} \cdot V_{P\theta}}{S_{III}}. \quad (22)$$

Разработанная математическая модель реализована в приложении Simulink среди MATLAB. Математическая модель и методика ее реализации позволяют расширить возможности выбора и оптимизации параметров перспективных ВУТП.

Исходя из теоретических положений разработана конструкция двухкамерного ВУТП. Серия опытных образцов разработанного ВУТП была изготовлена в ЗАО Краснодонский завод "Автоагрегат". Для подтверждения, уточнения и последующего развития математического моделирования были сформулированы направления экспериментальных исследований.

В четвертом разделе отображены положения выполненных экспериментальных исследований серийного и разработанного двухкамерных ВУТП.

В соответствии с сформулированными задачами и программой выполнены экспериментальные исследования:

- рабочих процессов и характеристик ВУТП;
- характеристик тормозной системы с ВУТП;
- ресурсные испытания созданного ВУТП.

Исследование рабочих процессов и характеристик ВУТП выполнялось на специально разработанной экспериментальной установке, структурная схема которой показана на рис. 8.



Рис. 8. Структура экспериментальной установки

С целью получения высокой достоверности результатов значительное внимание уделялось созданию измерительно-регистрирующего комплекса, основой которого является специально разработанный электронный блок обработки

сигналов, рассчитанный на одновременную работу 12 каналов. Структурная схема одного канала показана на рис. 9.



Рис. 9. Структура измерительно-регистрирующего комплекса

Расположение измерительных датчиков относительно опытного ВУТП показана на рис. 10.

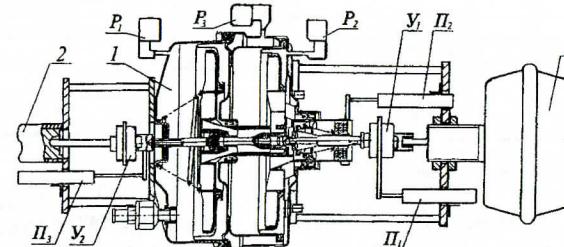


Рис. 10. Схема расположения датчиков на экспериментальной установке:

- 1 – опытный ВУТП;
- 2 – главный тормозной цилиндр;
- 3 – пневмокамера;
- $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$  – датчики перемещения толкателя, поршня и штока соответственно;
- $Y_1, Y_2$  – датчики усилия на толкателе и штоке соответственно;
- $P_1, P_2, P_3$  – датчики давления в полостях опытного усилителя.

Для получения информации о работе вакуумного усилителя на его вход (толкатель) подавалось дозированное усилие. Дозирование усилия по величине и скорости обеспечивалось изменением давления в пневмокамере 3 (рис. 10). В процессах имитации торможения и растормаживания измерялись: движение толкателя, поршня и штока; усилие на толкателе и штоке; давление в вакуумной и атмосферных полостях. В результате созданной методики получены абсолютные и относительные данные о параметрах рабочего процесса.

Исследование динамики рабочего процесса выполнялось с последовательным изучением влияния: разжижение в вакуумной полости; усилие на толкателе; темпа приложения усилия к толкателю.

Общий вид экспериментальных динамических характеристикображен на рис. 11.

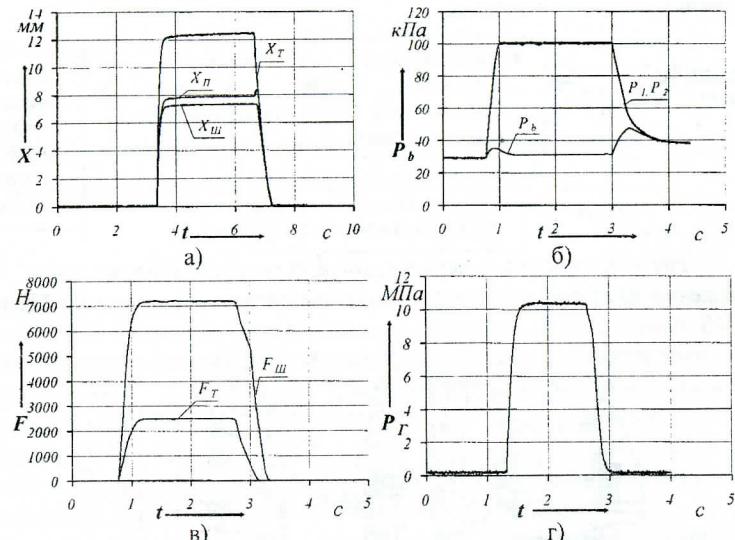


Рис. 11. Общий вид полученных экспериментальных динамических характеристик:

- а) перемещения  $X = f(t)$ ;
- б) разрежения  $P_b = f(t)$ ;
- в) усилия  $F = f(t)$ ;
- г) давления в приводе нагрузки  $P_T = f(t)$ ;

$X_T, X_P, X_W$  – перемещение толкателя, поршня и штока соответственно;  
 $P_b, P_1, P_2$  – изменение давления в вакуумной полости и атмосферных полостях;

$F_T, F_W$  – усилие на толкателе и штоке соответственно.

В результате выполненных экспериментов выяснилось что:

- уровень разрежения практически не влияет на время процесса торможения;
- время выравнивания давления в вакуумной и атмосферных полостях увеличивается при увеличении начального разрежения;
- процесс торможения снижает разрежение в вакуумной полости в среднем на 6 кПа;
- при снижении темпа усилия на толкателе от 0,04с до 0,3с уменьшается время изменения давления в атмосферных полостях на 0,2 – 0,24с.

Теоретическое положение о совместном перемещении поршней без отрыва друг от друга, подтверждено соотношениями перемещения толкателя и штока  $X_T > X_W$ . Влияние темпа торможения на параметры рабочего процесса ВУТП приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Результаты исследования влияния темпа входного воздействия на рабочий процесс вакуумного усилителя

Параметры процесса	Значение параметров									
	0,04	0,08	0,09	0,09	0,10	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32
$t_{T3}$ – время изменения усилия на толкателе от «0» до $F_{Tmax}$ , с										
$t_{3I}$ – время изменения давления в атмосферных полостях при затормаживании, с	0,75	0,64	0,75	0,76	0,68	0,35	0,20	0,48	0,30	0,46
$t_{W3}$ – время изменения усилия на штоке от «0» до $F_{Wmax}$ , с	0,82	0,72	0,80	1,00	0,80	0,48	0,40	0,52	0,50	0,46
$\Delta t$ – запаздывание растормаживания, с	0,18	0,12	0,20	0,17	0,15	0,16	0,15	0,12	0,18	0,09
$t_{W3} - t_{3I}$ , с	0,07	0,08	0,05	0,24	0,12	0,13	0,20	0,04	0,20	0
$P_{bh}$ – начальный уровень разрежения, кПа	28	54	22	32	36	24	32	56	44	67
$F_{Tmax}$ – максимальное усилие на толкателе, кН	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,5
$F_{Wmax}$ – максимальное усилие на штоке, кН	7,2	5,4	7,6	6,9	6,4	7,5	6,8	5,2	6,0	4,4

Получены также неизвестные ранее данные об относительном движении толкателя, поршня и штока в зависимости от деформации элемента следящего устройства.

Последующие экспериментальные исследования выполнялись с расположением на стенде тормозной системы в полном объеме с включением у нее созданного ВУТП. На стенде использовался разработанный измерительно-регистрирующий комплекс. Измерялись параметры: усилие на тормозной педали и ее движение; давление в гидравлическом тормозном поводе и давление в вакуумной и атмосферных полостях ВУТП. Полученные результаты свидетельствуют о незначительных отклонениях характеристик за счет влияния тормозной системы. Погрешности статических характеристик не выходят за рекомендованные границы, а динамические характеристики подтверждают высокий уровень следящего действия. Отличие экспериментальных и теоретических результатов при их сопоставлении не выходит за пределы 6%. Сравнение экспериментальных динамической и статической характеристик ВУТП с теоретическими показано на рис. 12.

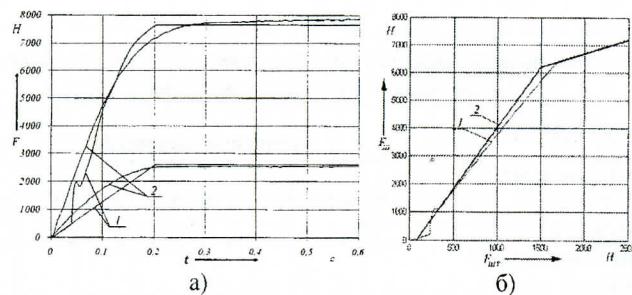


Рис. 12. Сравнение экспериментальных и теоретических характеристик:  
а) динамическая характеристика;  
б) статическая характеристика;  
1 – результаты математического моделирования;  
2 – результаты экспериментального исследования.

С целью определения надежности и безотказности работы созданного ВУТП были выполнены его ресурсные исследования в соответствии с техническими условиями к ВУТП. Опыты выполнялись на оборудовании ЗАО Краснодонский завод "Автоагрегат" и дали следующие результаты:

- реально количество циклов нагрузки было увеличено на 100 тыс. циклов относительно нормативных требований (200 тыс. циклов);
- полученные результаты герметичности и эффективности до и после циклических испытаний не выходят за пределы нормативных значений.

Созданный ВУТП внедряется в производство на ЗАО Краснодонский завод "Автоагрегат".

## ВЫВОДЫ

В процессе теоретических и экспериментальных исследований достигнута установленная цель и решены все поставленные задачи. Основные полученные результаты, состоят в следующем:

1. Существующая оценка эффективности усилителей производится по одному параметру – коэффициенту усиления, под которым понимается отношение усилия на выходе к усилию на входе. Такой подход закономерен, в основном, когда отсутствует подвод энергии от дополнительного источника, то есть усилитель рассматривается как преобразователь энергии. Этот подход не позволяет оценить эффективность усилителей на автомобилях с разной массой. Разработанный комплекс критериев оценки эффективности вакуумных усилителей тормозного привода позволил всесторонне оценить эффективность вакуумных усилителей.

2. В качестве критериев оценки эффективности предлагается использовать: – критерий оценки работы единицы массы и единицы объёма, представляющие собой отношение работы на выходе усилителя соответственно к его массе и строительному объёму;
- критерии оценки мощности единицы объёма и единицы массы, которые позволяют оценить не только компактность усилителя, но и его быстродействие;
- коэффициент податливости и удельный холостой ход толкателя усилителя, характеризующие компоновочный объём педального привода.
3. Использование предложенного комплекса критериев позволило найти пути снижения объёма и массы в разработанной автором конструкции усилителя на 30 – 40% по сравнению с аналогами.
4. Проведенный анализ и оценка функциональных связей элементов вакуумных усилителей позволили провести его структурную оптимизацию, что выразилось в усовершенствовании распределительного исполнительного и следящего устройств двухкамерного вакуумного усилителя.
5. Выполненные экспериментальные исследования разработанной конструкции двухкамерного вакуумного усилителя подтвердили теоретические положения диссертационной работы. Сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов исследований статических и динамических характеристик установлено, что их расхождение не превышает 6%.
6. Проведенные на заводе изготавлителе определительные испытания на надёжность опытной партии усилителей показали увеличение на 50% ресурса по сравнению с серийным. Это стало возможным благодаря проведенной структурной оптимизации конструкции вакуумных усилителей.
7. Результаты проведенного исследования позволили определить перспективы развития вакуумных усилителей, разработать конструкцию двухкамерного вакуумного усилителя и внедрить в серийное производство в ЗАО Краснодонский завод «Автоагрегат».

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ТРУДОВ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Скляров Н.В. Моделирование работы гидравлического тормозного привода с вакуумным усилителем // Новини науки Придніпров'я. – Дніпропетровськ: Дніпро – VAL. Науково-практичний журнал. – 2004. – №3. – С. 26–29.
2. Скляров Н.В. Влияние вакуумных усилителей гидропривода тормозов на процесс торможения автомобиля // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобиле – и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – №13. – С. 107–111.
3. С.Н. Шуклинов, Н.В. Скляров. Математическое моделирование рабочих процессов вакуумного усилителя тормозов // Автомобильный транспорт. – Харьков: Изд-во ХНАДУ. Сб. научн. тр. – 2003. – №13. – С. 210–214.

- Соискатель разработал математические модели ВУТП и тормозного привода с ВУТП, а также выполнил исследование моделей на ПЭВМ.
4. Шуклинов С.Н., Скляров Н.В. Совершенствование конструкции двухкамерных вакуумных усилителей тормозов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобилем – и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ», – 2005. – №10. – С.146–150.
  - Соискатель выполнил анализ конструкции ВУТП и предложил направления совершенствования двухкамерного ВУТП.
  5. Шуклинов С.Н., Скляров Н.В. Методика и оборудование для экспериментального исследования вакуумных усилителей // Автомобильный транспорт. – Харьков: Изд-во ХНАДУ. Сб. научн. тр. – 2004. – №15.–С.18-20.
  - Соискатель разработал методики и оборудование для выполнения экспериментальных исследований ВУТП.
  6. Шуклинов С.Н., Скляров Н.В. Критерии оценки эффективности конструкций вакуумных усилителей // Автомобильный транспорт. – Харьков: Изд-во ХНАДУ. Сб. научн. тр. – 2005. – №16. – С. 159-161.
  - Соискатель разработал критерии оценки эффективности ВУТП.
  7. Шуклинов С.М., Скляров М.В., Мельник С.П. Вимірювально-реєструючий комплекс для дослідження автомобільного гідроприводу гальм // Автошляховик України. – К.: Науково-виробничий журнал. – 2005. – №2 – С. 22-23.
  - Соискатель разработал методики и оборудование для выполнения экспериментальных исследований ВУТП.
  8. Шуклинов С.Н., Скляров Н.В. Математическое моделирование гидравлического тормозного привода с вакуумным усилителем // Транспорт, экология-устойчивое развитие. – Варна: ТУ – Варна. Сборник докладов международной технической конференции. – 2004. – №10. – С. 543-546.
  - Соискатель разработал математические модели ВУТП и тормозного привода с ВУТП, а также выполнил исследование моделей на ПЭВМ.

### АННОТАЦИЯ

**Скляров Н.В.** Повышение эффективности вакуумных усилителей тормозных приводов автотранспортных средств. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Харьков, 2006.

Диссертация посвящена совершенствованию свойств вакуумных усилителей. Выполненный обзор и анализ эргономических, энергетических и функциональных требований к тормозному управлению с гидроприводом подтвердил необходимость применения вакуумных усилителей. Установлено отсутствие однозначного обоснованного подхода к определению границ использования вакуумных усилителей на автомобилях различных категорий и классов. Выявлены

закономерности развития конструкции вакуумных усилителей ведущих мировых производителей. Анализ вариантов вакуумных усилителей позволил выделить и систематизировать основные признаки в соответствии, с которыми предложена классификация вакуумных усилителей.

Для сравнения усилителей предложены критерии оценки эффективности, предусматривающие использование таких показателей как: работа и мощность единицы массы усилителя; работа и мощность единицы объёма усилителя; удельный холостой ход и податливость. С другой стороны эффективность целесообразно оценивать выходными силовыми и скоростными возможностями. И, наконец, эффективность должна оцениваться возможностью трансформироваться с минимальными изменениями и затратами для применения на автомобилях различных классов.

С использованием предложенной методики синтеза разработаны двухкамерный и модульный варианты вакуумных усилителей.

Для теоретического исследования рабочих процессов создана математическая модель, учитывающая возможные изменения конструкции и режимов работы. Выполненные теоретические исследования модели на ПЭВМ свидетельствуют о преобладающем влиянии на рабочие процессы взаимодействия распределительного и следящего устройств. Для подтверждения теоретических положений и всестороннего экспериментального исследования вакуумных усилителей были созданы: экспериментальная установка для исследования рабочих процессов и характеристик вакуумных усилителей и стенд для исследования характеристик тормозного управления с вакуумным усилителем. Установка и стенд оборудованы современными средствами измерения.

Полученные экспериментальные данные позволили уточнить модель и внести изменения в конструкцию двухкамерного вакуумного усилителя, выполненного по заказу ЗАО Краснодонский завод «Автоагрегат» для постановки его на производство с дальнейшим использованием на автомобилях УАЗ.

**Ключевые слова:** вакуумный усилитель, рабочий процесс, эффективность, удельные показатели, разработка, моделирование.

### АНОТАЦІЯ

**Скляров М.В.** Підвищення ефективності вакуумних підсилювачів гальмівних приводів автотранспортних засобів. – Рукопись.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2006.

Дисертація присвячена вдосконаленню властивостей вакуумних підсилювачів шляхом дослідження їх робочих процесів.

Для визначення напрямків вдосконалення виконана класифікація вакуумних підсилювачів, виділені і проаналізовані їх структурні складові.

Запропонований новий підхід до оцінки ефективності підсилювачів який базується на розроблених критеріях в основі яких знаходяться питомі показники. Оцінка ефективності залежить також від можливості використання підсилювачів на автомобілях різних класів.

На основі розроблених критеріїв і на базі складових частин підсилювачів виконаний синтез двохкамерного і модульного вакуумних підсилювачів.

Розроблена математична модель дозволяє визначати вплив параметрів підсилювача на його робочі процеси і вихідні характеристики, що також підтверджено експериментальними дослідженнями. Розробка та дослідження двохкамерного підсилювача виконана з метою впровадження в виробництво на ЗАТ Краснодонський завод «Автоагрегат» з послідувачим використанням на автомобілях УАЗ.

**Ключові слова:** вакуумний підсилювач, робочий процес, ефективність, питомі показники, розробка, моделювання.

#### ABSTRACT

**Sklyarov N.V.** Increasing of efficiency of vacuum amplifiers for braking drives of vehicles. – Manuscript.

Dissertation for the scientific degree competition of candidate of technical sciences on the speciality 05.22.02 – Automobiles and tractors. – Kharkov National Automobile and Highway University. Kharkov, 2006.

The dissertation is devoted to the perfecting of the vacuum amplifiers properties by investigation of their working processes.

The classification of vacuum amplifiers is accomplished with the selection and analysis of their structural components for determination of the ways for perfecting.

A new approach for the estimation of efficiency on the basis of developed criterions, which are founded on the specific parameters, has been proposed. The estimation of efficiency depends also on the possibility of using the amplifiers on the automobiles of different classes.

On the basis of the criterions proposed, and with the account of selected structural components, the synthesis of two-chambered and modular vacuum amplifiers is accomplished.

The mathematical model developed allows to determine the influence of the amplifier parameters on its working processes and output characteristics. Theoretical investigations of the working processes are experimentally proved.

The development and investigation of the two-chambered vacuum amplifier are carried out for the preparing of manufacturing in CSS Krasnodon Plant "Avtoagregat" with the further usage at the UAZ automobiles.

**Key words:** vacuum amplifier, working process, efficiency, specific parameters, development, modeling.

Подписано к печати 24.10.2006г.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная Гарнитура Times New Roman

Печать RISO. Усл. печ. 1.9 Уч. - изд. л. 1.7

Заказ № 831/06 Тираж 100 экз. Цена договорная

Издательство ХНАДУ, 61002, г. Харьков - ГСП, ул. Петровского, 25

Свидетельство государственного комитета информационной политики, телевидения и радиовещания Украины о внесении субъекта издательского дела в государственный реестр издателей, изготовителей и распространителей издательской продукции, серия ДК№ 897 от 17.04.2002 г.