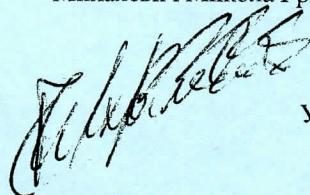


ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Михалевич Микола Григорович



УДК 629.3.02-592-523:681.527.35

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ АПАРАТІВ
ГАЛЬМІВНОГО ПРИВОДУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацію є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор

Клименко Валерій Іванович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідуючий кафедрою автомобілів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Бажинов Олексій Васильович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідуючий кафедрою автомобільної електроніки.

кандидат технічних наук, доцент

Мандрика Володимир Ростиславович

Національний технічний університет НТУ «ХПІ», доцент кафедри автомобіле- та тракторобудування.

Захист відбудеться: «18» листопада 2009 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

Автореферат розісланий «15» жовтня 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Наглюк І.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. При сучасному рівні конкуренції на ринку автоперевізників, а також збільшенні середньої швидкості руху і кількості автотранспортних засобів (АТЗ) на дорогах, щільність транспортного потоку суттєво зросла. Все це вимагає швидкої реакції не тільки від водія, але і від автомобіля. Рух з дистанцією суттєво меншу за безпечну, збільшення повної маси автомобілів і автопоїздів, а також швидкість їхнього руху потребує безпомилкового контролю над транспортним засобом у будь-якій ситуації. Виникає проблема підвищення швидкодії не тільки робочої гальмівної системи, але й аварійної.

На сьогодні пневматичний гальмівний привід (ПГП) практично вичерпав можливості що до зменшення часу спрацьовування. При збереженні його структури, що склалася, ~~найбільший розвиток в світі одержав електропневматичний гальмівний привід (ЕПГП)~~. Його використання дозволяє суттєво підвищити швидкодію, а також дає можливість застосовувати самостійні або комплексні електронні системи, які підвищують ефективність і безпеку гальмування АТЗ.

Відсутність вітчизняного надійного і простого зразка електропневматичного гальмівного приводу створює труднощі для розвитку, відповідно до світових тенденцій, вітчизняних автоагрегатних і автоскладальних підприємств. Вирішення цієї проблеми є актуальним завданням для науки і виробництва.

Актуальність теми. Україна має величезний потенціал і досвід у виробництві апаратів для пневматичного гальмівного приводу тягачів і причепів. Такі заводи як Полтавський агрегатний завод, Волчанський агрегатний завод поставляють свою продукцію не тільки українським виробникам транспортних засобів, але і в країни СНД. Проте відсутність в Україні впродовж останніх десяти років робіт, направлених на створення та удосконалення ЕПГП активізувало просування на вітчизняний ринок таких фірм як KNORR-BREMSE і WABCO. Світові лідери з виробництва апаратів для пневматичних і електропневматичних гальмівних систем починають захоплювати відповідні сегменти ринку. Це позначається і на вартості АТЗ у цілому і на обсягах виробництва пневматичних апаратів вітчизняними заводами. Тому створення конструкції електропневматичного гальмівного приводу, який зможе конкурувати із зарубіжними аналогами, а також перевершувати їх за надійністю і вартістю є актуальним завданням для України.

З'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №39 від 26 січня 1994 року «Про організацію виробництва міських автобусів великої місткості», а також відповідно до планів НДР кафедри автомобілів ХНАДУ за комплексними темами: «Системне проектування та конструювання транспортних засобів, що забезпечують необхідну безпеку дорожнього руху», «Теоретичні і експериментальні дослідження електропневматичного гальмового приводу автотранспортних засобів» №0198U005036, «Розробка теоретичних основ синтезу елементів електропневматичного приводу гальм, об'єднаного з АБС», «Теоретичні і експериментальні дослідження електропневматичного

гальмового приводу автотранспортних засобів, об'єднаного з антиблокувальною гальмовою системою» №0101U005210, «Обґрунтування закономірностей побудови структурних модулів електропневматичного гальмівного приводу», «Рішення зв'язаних задач газової та електродинаміки в електропневматичних апаратах машинобудування» №0103U001442. Роль автора в науково-дослідних роботах полягає у розробці і досліджені електропневматичного гальмівного приводу з двомагістральним захисним клапаном.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вдосконалення електропневматичних апаратів гальмівного приводу.

Відповідно до поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз конструкцій ЕПГП вітчизняних і світових виробників для виявлення їх недоліків;
- розробити математичну модель електропневматичного гальмівного приводу, яка адаптована для дослідження роботи контура релейного ЕПГП з метою врахування впливу динаміки електромагнітного клапана на час реакції мембрани та визначення факторів що впливають на швидкодію мембраниного модулятора;
- експериментально підтвердити працездатність контура аварійної гальмівної системи, яка не має у своєму складі керуючих електрических елементів та її сумісність з контуром робочої гальмівної системи ЕПГП;

Об'єктом дослідження є процеси, що відбуваються в гальмівних апаратах електропневматичного гальмівного приводу.

Предметом дослідження є робоча та аварійна гальмівна система електропневматичного гальмівного приводу.

Методи дослідження. У процесі аналізу робіт з ЕПГП використовувався історичний метод аналізу; для дослідження роботи електропневматичного приводу і його захисного контура – методи математичного моделювання і чисельні методи рішення диференціальних рівнянь; експериментальні дослідження проводилися методом спостереження і активного експерименту.

Наукова новизна. Вперше, за допомогою розробленої математичної моделі, досліджена динаміка сумісної роботи електромагнітного клапана і пневматичних елементів ЕПГП. Удосконалено відомий метод із зосередженими параметрами шляхом введення додатково функцій зміни знаку, визначення температури та коефіцієнта опору, що позбавляє від необхідності рішення почесного двох систем рівнянь (окрім для наповнення та спорожнення об'єму). У результаті експериментальних і теоретичних досліджень *доповнений* перелік факторів що впливають на точність регулювання мембраними модуляторами. Уточнені та узагальнені вимоги до статичної характеристики ЕПГП, а саме введено вимогу забезпечення бортової нерівномірності гальмівних сил згідно правилам ЄСЕК ООН. Уточнені вимоги за яких забезпечується відповідність контура ЕПГП параметрам АТЗ.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена математична модель дозволяє враховувати в роботі ЕПГП динаміку спрацьовування електромагнітних клапанів, періодичне наповнення і спорожнення порожнини модулятора і частини трубопроводу при монотонному наповненні або спорожненні гальмівної камери. Запропонована схема ЕПГП і його алгоритму керування дозволяє знизити витрату робочого тіла, а також діагностувати вихід з ладу контура аварійної гальмівної системи. Розроблений двомагістральний захисний клапан для електропневматичного гальмівного приводу забезпечує автоматичне включення захисного контура при виході з ладу робочої гальмівної системи. Відсутність в ньому електрических елементів виключає його вихід з ладу через порушення в роботі електроустаткування та електроніки. Алгоритм роботи дозволяє зменшити гальмівний шлях АТЗ.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні дослідження виконані особисто автором. Автору належать: результати аналізу існуючих конструкцій ЕПГП [1]; математична модель ЕПГП за допомогою якої вирішенні сумісно рівняння електро- та газової динаміки [3]; розроблена конструкція двомагістрального захисного клапана [2, 4]; розроблена конструкція вдосконаленого модулятора тиску [4]; схема аварійної гальмівної системи ЕПГП [2]; результати експериментальних досліджень роботи модулятора тиску та аварійного контуру ЕПГП [4].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації і робота в цілому доповідалися і одержали позитивну оцінку на:

- міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні напрями розвитку конструкції автомобіля» (м. Харків, ХНАДУ, 26.10.2001 р.);
- XXXVIII міжнародній науково-технічній конференції «Безпека автотранспортних засобів» (м. Дніпровськ, Московська обл., 20.06.2002 р.);
- десятій науково-технічній міжнародній конференції «Транспорт, екологія – стійкий розвиток» (м. Варна, Технічний університет Варни, 14.05.2004 р.);
- шостому міжнародному науково-технічному семінарі «Перспективи розвитку автомобіле- та тракторобудування» (м. Харків, НТУ «ХПІ», 20.04.2007 р.);
- міжнародному науковому симпозіумі «Автотракторобудування – 2009» (м. Москва, МГТУ «МАМИ», 25.04.2009 р.);
- 66-й – 73-й науково-технічних і науково-методичних сесіях ХНАДУ (м. Харків, ХНАДУ, 2002–2009 рр.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 5 наукових роботах, зокрема 4 в спеціалізованих виданнях, що входять до переліку ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг роботи складає 219 сторінок, зокрема, 142 рисунки на 101 сторінці, 5 таблиць на 5 сторінках, 5 додатків на 25 сторінках. Список використаних джерел складається з 167 найменувань на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі стисло розглянуто стан питання у галузі розробок ЕПГП, обґрунтовано актуальність роботи, визначені мета і задачі дослідження, вказані основні наукові результати, наведені відомості про публікації і апробацію основних положень, показана практична цінність одержаних результатів.

У першому розділі проаналізовано еволюційний розвиток електронних систем управління пневматичним гальмівним приводом, розглянуті тенденції розвитку функцій ЕПГП. Обґрунтуванням доцільності застосування електро-пневматичного гальмівного приводу, а також створенням, дослідженням і випробуванням його елементів займались такі вчені як: Фрумкін А.К., Попов А.І., Rex R., Нужний В.В., Альюкс М.М., Гецович Є.М., та ін. На основі їх робіт і сучасних серійних зразків ЕПГП був проведений аналіз конструкцій модуляторів тиску для антиблокувальної системи і ЕПГП. Зазначено відсутність універсального рішення прийнятного для керування гальмівними механізмами любої осі АТЗ. На основі аналізу роботи контурів аварійної гальмівної системи ЕПГП встановлено, що вихід з ладу електромагнітного роз'єднувального клапана, який керує роботою аварійного контура, приведе до виключення з роботи працездатної робочої гальмівної системи. Проаналізовано існуючі математичні моделі, що описують роботу електромагнітного клапана і динаміку пневматичного гальмівного приводу. Зазначено відсутність математичного опису процесів що відбуваються у релейних ЕПГП побудованих на основі мембраниного модулятора тиску. Розглянуті типові системи автоматичного регулювання (САР) і реалізовані алгоритми керування ЕПГП. Визначені недоліки описаних алгоритмів і сформовані задачі дослідження.

У другому розділі досліджена конструкція експериментального зразка контура ЕПГП (рис. 1), створена з метою проведення серії пошукових експериментів. Метою пошукового експерименту було експериментальне встановлення функціональних зв'язків між елементами САР у контурі ЕПГП з мембраним модулятором тиску і відомими алгоритмами регулювання. У ході експериментальних досліджень визначалася динамічна, статична і витратна характеристики гальмівного приводу, а також досліджувалася робота модулятора в режимі широтно імпульсної модуляції (ШІМ). Статична і динамічна характеристики визначалися при різних варіантах установки датчика зворотного зв'язку (33) САР. Варіант №1 – датчик 33 встановлений у гальмівній камері. Варіант №2 – датчик 33 встановлений у трубопроводі між гальмівними камерами і модулятором тиску на відстані 0,6 м від модулятора. Варіант №3 – датчик 33 встановлений у порожнині модулятора.

У ході експерименту була всебічно досліджена робота контура ЕПГП внаслідок чого виявлені процеси, що впливають на якість роботи приводу і потребують детального вивчення.

У результаті аналізу осцилограм перехідних процесів, визначених під час пошукового експерименту, був зроблений висновок про необхідність доопрацювання існуючих математичних моделей, що описують роботу пневматичного гальмівного контура, з метою їх адаптації до особливостей роботи ЕПГП.

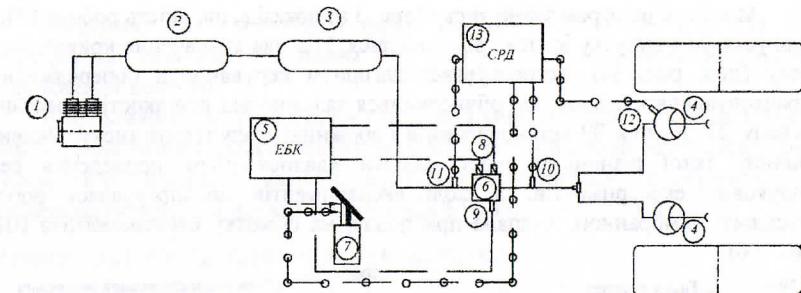


Рис. 1. Схема експериментального контура ЕПГП:

1 – компресор; 2 – «мокрий» ресивер; 3 – сухий ресивер; 4 – гальмівні камери задніх коліс; 5 – електронний блок керування ЕПГП; 6 – осьовий модулятор; 7 – гальмівний кран з датчиком переміщення; 8 – електромагнітні клапани модулятора; 9 – датчик тиску зворотного зв'язку; 10 – датчик тиску за модулятором; 11 – датчик тиску перед модулятором; 12 – датчик тиску в гальмівній камері; 13 – система реєстрації даних

Динаміка наповнення ЕПГП оцінювалася в двох режимах:

- визначення реакції САР ЕПГП на ступінчасту зміну задавального сигналу до його максимального значення ($U_3 = U_{\max}$);
- визначення швидкодії ЕПГП при натисненні на педаль гальма відповідно до нормативних вимог.

При визначенні реакції на ступінчасту зміну задавального сигналу динаміка наповнення контура ЕПГП не залежить від місця установки датчика 33 лише при підвищенні тиску до максимального значення у ресивері (рис. 2 а).

У решті випадків (рис. 2 б), фіксувалися значні коливання тиску, як в гальмівній камері, так і в трубопроводі після модулятора тиску. Характер зміни тиску в трубопроводі за модулятором свідчить про те, що САР встигає переключити модулятор на зниження тиску повітря, що веде до перевитрати робочого тіла.

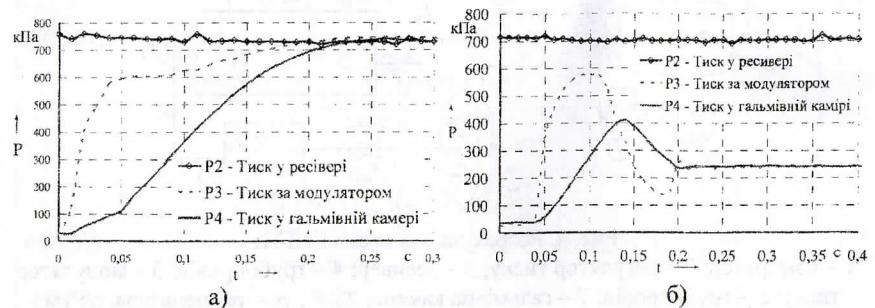


Рис. 2. Графік реакції САР ЕПГП на ступінчасту зміну задавального сигналу:
а) – до значення $U_3 = U_{\max}$; б) – до значення $U_3 < U_{\max}$

Аналіз осцилограм зміни тиску (рис. 3 а) показав, що якість роботи ЕПГП на впусканні і випуску істотно відрізняється. Під час визначення кривих зміни тиску (див. рис. 3а) застосувався алгоритм керування з попередженням спрацьовування клапанів, що обчислюється залежно від швидкості наростиання сигналу 33. Датчик 33 встановлений в порожній модуляторі тиску. Виявити причину такої різниці у якості роботи вдалося після проведення серії пошукових експериментів. У ході експериментів досліджувалася робота впускного мембраниого клапана при подачі на обмотку електромагніта ШІМ (рис. 3 б).

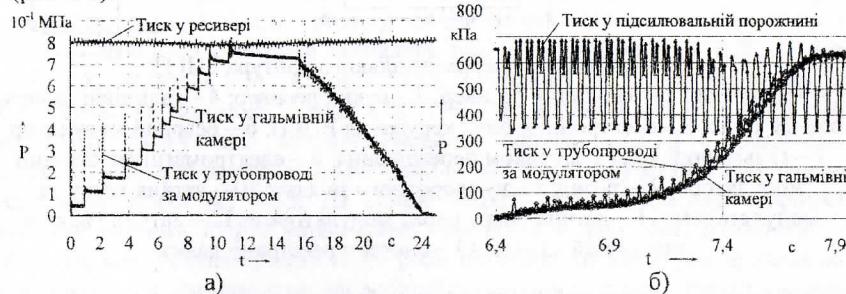


Рис. 3. Криві зміни тиску в контурі ЕПГП:
а) – під час плавного переміщення педалі гальма; б) - за допомогою ШІМ
при частоті 20 Гц тривалості імпульсу 67 %

За результатами експериментальних даних можна відзначити покращення якості регулювання пов'язане з неповним спорожненням підсилювальної порожнини впускного мембраниого клапана модулятора.

У третьому розділі складена розрахункова схема контура ЕПГП (рис. 4) і записані системи рівнянь динаміки пневматичного контура і електромагнітного клапана, що дало можливість вперше для гальмівного контура вирішити спільно загальну систему рівнянь і тим самим точніше описати роботу каскаду посилення і контура ЕПГП в цілому.

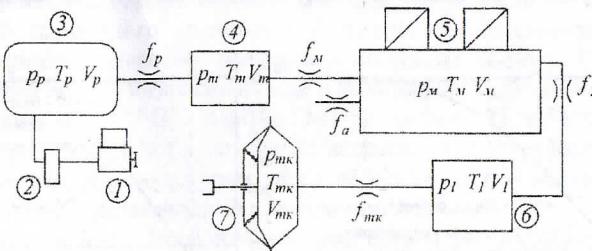


Рис. 4. Розрахункова схема ЕПГП:

1 – компресор; 2 – регулятор тиску; 3 – ресивер; 4 – трубопровід; 5 – модулятор тиску; 6 – трубопровід; 7 – гальмівна камера; T , V , p – температура, об’єм і тиск повітря відповідно; f – ефективні площини відповідних ланок

Рівняння, що стосуються руху повітря в контурі (1), (2) ЕПГП допрацьовані шляхом об’єднання тих рівнянь, що описують наповнення і спорожнення контура.

Результатом доопрацювання стала можливість розрахувати наповнення і спорожнення різних ділянок контура ЕПГП при монотонному наповненні або спорожненні гальмівної камери. Як показали пошукові експерименти, такі режими характерні для релейного контура ЕПГП.

$$\begin{aligned} kR[\operatorname{sign}(p_1 - p_{mk}) \cdot W(T_1; T_{mk}) G_{mk}] dt = V_{mk} dp_{mk} + k \cdot p_{mk} dV_{mk}(h_{uu}) \\ G_{mk} = K \cdot f_{mk}(\zeta_1; \zeta_2) \cdot \max(p_1; p_{mk}) \sqrt{\frac{1}{R \cdot W(T_1; T_{mk})}} \phi(U_{mk}) \\ f_{mk}(\zeta_1; \zeta_2) = \frac{\pi d^2}{4 \cdot \left[1 + \left[\frac{\max\left(p_1 \cdot \left(T_1 - \frac{\zeta_1 - \zeta_2}{2}\right)\right); \left(p_{mk} \cdot \left(T_{mk} + \frac{\zeta_1 - \zeta_2}{2}\right)\right)}{\max(p_1; p_{mk})} \right] + \operatorname{sign}(p_1 - p_{mk}) \cdot \frac{\zeta_1 - \zeta_2}{2} \right]} \end{aligned} \quad (1)$$

$$W(T_1; T_{mk}) = \left[\frac{\max\left(p_1 \cdot \left(T_1 - \frac{T_1 - T_{mk}}{2}\right)\right); \left(p_{mk} \cdot \left(T_{mk} + \frac{T_1 - T_{mk}}{2}\right)\right)}{\max(p_1; p_{mk})} \right] + \operatorname{sign}(p_1 - p_{mk}) \cdot \frac{T_1 - T_{mk}}{2} \\ T_{mk} = T_0 \cdot \left(\frac{p_{mk}}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_1 = T_0 \cdot \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

$$kR[T_m G_m + \operatorname{sign}(p_2 - p_m) W(T_m; T_2) G_2 - T_m G_a] dt = V_m dp_m; \\ G_m = K f_m p_m \sqrt{\frac{1}{RT_m}} \phi(Y_m); \\ G_a = K f_a p_m \sqrt{\frac{1}{RT_m}} \phi(Z_a); \\ G_2 = K \cdot f_2(\zeta_m; \zeta_2) \cdot \max(p_m; p_2) \sqrt{\frac{1}{R \cdot W(T_m; T_2)}} \phi(U_2); \quad (2)$$

$$f_2(\zeta_m; \zeta_2) = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \left[1 + \left[\frac{\max\left(p_m \cdot \left(T_m - \frac{\zeta_m - \zeta_2}{2}\right)\right); \left(p_2 \cdot \left(T_2 + \frac{\zeta_m - \zeta_2}{2}\right)\right)}{\max(p_m; p_2)} \right] + \operatorname{sign}(p_m - p_2) \cdot \frac{\zeta_m - \zeta_2}{2} \right]}; \\ W(T_m; T_2) = \left[\frac{\max\left(p_m \cdot \left(T_m - \frac{T_m - T_2}{2}\right)\right); \left(p_2 \cdot \left(T_2 + \frac{T_m - T_2}{2}\right)\right)}{\max(p_m; p_2)} \right] + \operatorname{sign}(p_m - p_2) \cdot \frac{T_m - T_2}{2};$$

$$T_m = T_0 \cdot \left(\frac{p_m}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad T_2 = T_0 \cdot \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad f_m = \frac{\pi \cdot D_m \cdot h_{uu}}{\sqrt{1 + \zeta_{uu}}}; \quad f_a = \frac{\pi \cdot D_m \cdot h_{uu}}{\sqrt{1 + \zeta_{uu}}}.$$

де k – показник адіабати; R – універсальна газова постійна; T_1 – температура перед входом в гальмівну камеру; G_{mk} – витрата повітря при наповненні і спорожненні гальмівної камери; T_{mk} – температура повітря в гальмівній камері; V_{mk} – об'єм гальмівної камери; p_{mk} – тиск повітря в гальмівній камері; p_1 – тиск повітря в трубопроводі перед гальмівною камерою; $\phi(Y_{mk})$ – функція витрати при наповненні гальмівної камери; $\phi(Z_{mk})$ – функція витрати при спорожненні гальмівної камери; K – визначається за формулою $K = \sqrt{2 \cdot k / (k - 1)}$; ζ – коефіцієнт опору; $\phi(U_{mk})$ – функція витрати при наповненні і спорожненні гальмівної камери.

Опис роботи електромагнітного клапана за допомогою системи диференціальних рівнянь (3), дозволило аналізувати його роботу в різних режимах, у тому числі і при подачі на обмотку електромагніта широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

$$\begin{cases} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{U}{n} - i \cdot \frac{R_a}{n} \\ m \frac{d^2x}{dt^2} = k \cdot \Phi^2 - P_{np}(x) \\ i = \frac{2 \cdot k}{n} \cdot \Phi \cdot (\delta_0 - x) \end{cases} \quad (3)$$

де Φ – магнітний потік, Вб; x – переміщення якоря, м; U – напруга, В; n – число витків в обмотці електромагніту; R_a – опір, Ом; i – поточне значення струму, А; m – маса рухомих частин, кг; P_{np} – сила протидії руху якоря, Н; δ_0 – початковий робочий зазор, м; k – постійна, залежна від конфігурації магнітного ланцюга електромагніта.

Розрахунок гідравлічних опорів контура ЕПГП дозволив ввести дані в модель і одержати криві зміни тиску під час роботи контура ЕПГП. Моделювання роботи контура під час подачі на обмотку електромагніта ШІМ дозволило одержати залежність часу відкритого стану мембраниого клапана від параметрів подачі ШІМ електричного сигналу на обмотку електромагніта (рис. 5).

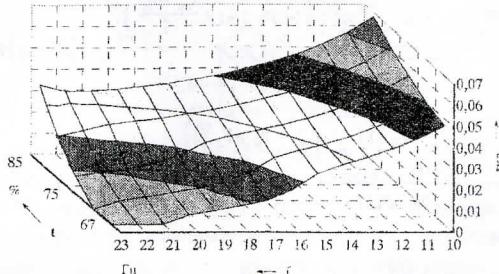


Рис. 5. Залежність часу відкритого стану впускного мембраниого клапана від частоти і тривалості подачі імпульсів ШІМ на обмотку електромагнітного клапана

У четвертому розділі описані елементи вдосконалого контура ЕПГП і їх функціональні зв'язки. Проаналізовані динамічні властивості експериментального ЕПГП, визначено можливість застосування відповідного алгоритму керування. За результатами моделювання динаміки сумісної роботи електромагнітного клапана та мембрани було виявлено, що на швидкодію мембраниого клапана суттєвий вплив роблять: перепад тиску на мембрani, при якому вона спрацьовує; межі зміни тиску в підсилювальній порожнині і швидкість нарощання тиску в підсилювальній порожнині (яка визначається умовним діаметром електромагнітного клапана та об'ємом підсилювальної порожнини). Всі ці фактори були враховані у вдосконалений конструкції модулятора. Як показали розрахунки і експериментальні дослідження умови роботи впускного і випускного мембраних клапанів виявилися неоднаковими, чим обґрунтована різна точність при впусканні і випуску повітря з гальмівної камери (див. рис. 3 а). На одну з поверхонь випускної мембрани постійно впливає атмосферний тиск, на відміну від впускної. Цим пояснюється вищий рівень тиску в підсилювальній порожнині впускної мембрани, що спричиняє її пізніше переміщення. Якщо межа спрацьовування випускної мембрани складає 50 – 150 кПа, то для випускної мембрани ця величина дорівнює 500 – 700 кПа.

Очевидно, що випускна мембра при наповненні підсилювальної порожнини від атмосферного тиску спрацьовує швидше. Після визначення рівня тиску, що приводять до переміщенняожної мембрани, було обмежено мінімальний тиск у підсилювальній порожнині впускної мембрани величиною 350 – 450 кПа. Такий рівень тиску дозволяє скорочувати час на заповнення підсилювальної порожнини повітрям. Границє значення перепаду тиску після якого починається рух мембрани знаходитьться нижче максимального тиску у ресивері (800 кПа) тому випускний канал підсилювальної порожнині впускної мембрани було з'єднано з проточною порожниною модулятора. Таким чином знишилися втрати робочого тіла бо повітря із підсилювальної порожнини направляється у контур ЕПГП. Подальший аналіз роботи каскаду посилення на математичній моделі дозволив визначити ще один шлях підвищення швидкодії мембраниого клапана, збільшення прохідного перерізу електромагнітного клапана. Моделювання роботи впускної і випускної мембрани з електромагнітними клапанами, у яких різний умовний діаметр, ще раз підтвердило актуальність обмеження мінімального тиску в підсилювальній порожнині впускного клапана і дозволило вибрати оптимальний прохідний переріз електромагнітного клапана, а також їх кількість, що забезпечує максимальну швидкодію мембрани (рис. 6). Це відбувається за рахунок того що декілька електромагнітних клапанів зберігають малий хід якоря, а сумарний перетин групи клапанів збільшується.

Обмеження мінімального тиску в підсилювальній порожнині має і негативні наслідки для роботи модулятора тиску. Із збільшенням цього тиску підвищується мінімальна напруга, при якій електромагнітний клапан залишається працездатним. Позитивний результат у збільшенні швидкодії впускної мембрани дала установка зворотного клапана в канал, що зв'язує напірну

порожнину модулятора з підсилювальною порожниною впускою мембрани. Таке рішення дозволяє позбавитися падіння тиску в підсилювальній порожнині в результаті синхронного зниження тиску в напірній порожнині модулятора під час процесу впускання. У розробленому ЕПГП використовувався вдосконалений алгоритм керування контуром, направлений на покращання трьох параметрів роботи контура. Перший – зменшення ступеня підвищення тиску при заповненні контура повітрям під час плавного переміщення педалі гальма (див. рис. 3 а). Другий – усунення перевитрати робочого тіла при перерегульованні сигналу 33 в результаті перемикання модулятора на випуск повітря (див. рис. 2. б). Третій – підвищення швидкодії за рахунок попереднього підвищення тиску в гальмівній камері відразу після торкання педалі гальма. Цим досягається вибірка зазорів у гальмівних механізмах.



Рис. 6. Графік часу спрацьовування: час спрацьовування впускного мембраничного клапана залежно від умовного діаметра електромагнітного клапана і його кількості

Основним елементом контура аварійної гальмівної системи в розробленому електропневматичному гальмівному приводі є двомагістральний захисний клапан для ЕПГП.

Особливістю його конструкції є відсутність електричних клапанів, керованих електронним блоком керування. Це дозволяє виключити вихід з ладу захисного контура або його мимовільне спрацьовування через порушення в роботі електричних елементів захисного клапана або перебої в електроп живленні.

Оцінка сумісності розробленого модулятора з АТЗ використовувалася методикою запропоновану Нужним В.В. Але вона вдосконалена автором роботи шляхом урахування допустимої бортової нерівномірності і опису параметрів контура не узагальненою характеристикою (як пропонував Нужний В.В.), а параметрами, що описують окремі ділянки контура, які відповідають за якість його роботи.

Перше – забезпечення комфорtabельності службових гальмувань, використовуючи нечутливість людського організму до змінення уповільнення (може бути виражена лінійною або степеневою залежністю), яке записується рівнянням:

$$[\Delta F_{Ti}] = [\Delta P_i] \cdot K_{Ti} = m \cdot [\Delta j] \quad (4)$$

де $[\Delta F_{Ti}]$ – допустима зміна гальмівної сили i -ої осі АТЗ яка визначає допустиме змінення уповільнення, Н; $[\Delta P_i]$ – допустима зміна тиску в i -му контурі гальмівного приводу, МПа; K_{Ti} – коефіцієнт перетворення гальмівного механізму та колеса i -ої осі Н/МПа; m – маса АТЗ, кг; $[\Delta j]$ – допустима зміна уповільнення, m/s^2 .

Друге – забезпечення можливості регулювання тиску під час гальмування на льоду при мінімальному коефіцієнту зчеплення коліс з дорогою. У роботах попередніх дослідників ця сходинка визначається як різниця між тиском блокування коліс при мінімальному зчепленні з дорогою і тиском початку зростання гальмівного моменту. Наявність двох модуляторів на одній осі допускає їх асинхронну роботу через що необхідно ввести *третє обмеження* – згідно з ДСТУ UN/ECE R 13-07,08:2002 допустима бортова нерівномірність тиску для будь-якої осі не повинна перевищувати 25 % від більшої величини в діапазоні від 2 m/s^2 і більше, а також не перевищувати значення, відповідне 25 %, при уповільненні 2 m/s^2 і менше.

Після детального дослідження процесу зміни тиску в контурі релейного ЕПГП (рис. 7) в методику, запропоновану Нужним В.В., введено додаткову нерівність (5), що обмежує величину ступеня тиску.

$$K_B \cdot t_{\text{відкр.стан}} \cdot \operatorname{tg} \beta \leq [\Delta P_B], \quad (5)$$

де $[\Delta P_B]$ – допустима величина ступеня тиску, МПа; $t_{\text{відкр.стан}}$ – час відкритого стану мембраничного клапана; $\operatorname{tg} \beta$ – темп зростання тиску у трубопроводі між гальмівною камерою і модулятором, MPa/s ; $K_B = \frac{V_M}{V_M + V_{TK}}$ – коефіцієнт вирівнювання тиску.

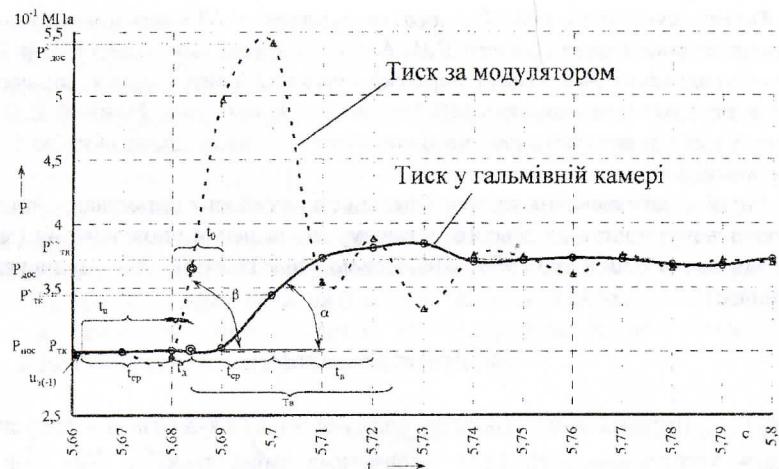


Рис. 7. Підвищення тиску в контурі ЕПГП на величину одного ступеня:

У результаті розрахунків для вантажного автомобіля загального призначення четвертого класу ЗІЛ – 431410 згідно з усіма трьома обмеженнями визначення ступінчастості ЕПГП допустимі значення уставок тиску матимуть вигляд (рис. 8 а, 8 б).

Реальний рівень приросту уповільнення відповідний досягнутому рівню відкритого стану впускного клапана визначається залежністю

$$\Delta j_i = \frac{t_{\text{відкр.стан}} \cdot K_{\beta i} \cdot K_{\alpha i} \cdot K_{Ti}}{m}, \quad (6)$$

а з урахуванням наповнення гальмівної камери

$$\Delta j_i = \frac{[(t_{\text{відкр.стан}} \cdot K_{\beta i} - (t_u - t_{0i}) \cdot K_{\alpha i}) \cdot K_{Bi} + (t_{\text{відкр.стан}} - t_{0i}) \cdot K_{ai}] \cdot K_{Ti}}{m}, \quad (7)$$

де K_{Bi} – коефіцієнт вирівнювання тиску i -го контура; $K_{\beta i}$ – темп наростиання тиску в трубопроводі за модулятором, МПа/с; $K_{\alpha i}$ – темп наростиання тиску в гальмівній камері, МПа/с.

Як видно з рис. 8 а) та 8 б) усі три критерії по черзі визначають допустимі значення зміни тиску у контурі ЕПГП залежно від рівня уповільнення та розташування вісі автомобіля. Слід зазначити що для модулятора який забезпечує тільки осьове регулювання тиску допускається не враховувати обмеження 2 (див. рис. 8 а та 8 б).

Узагальненою характеристикою сумісності модулятора і АТЗ за всіма трьома обмеженнями можна вважати допустимий час відкритого стану мембраничного клапана модулятора (рис. 8 в та 8 г).

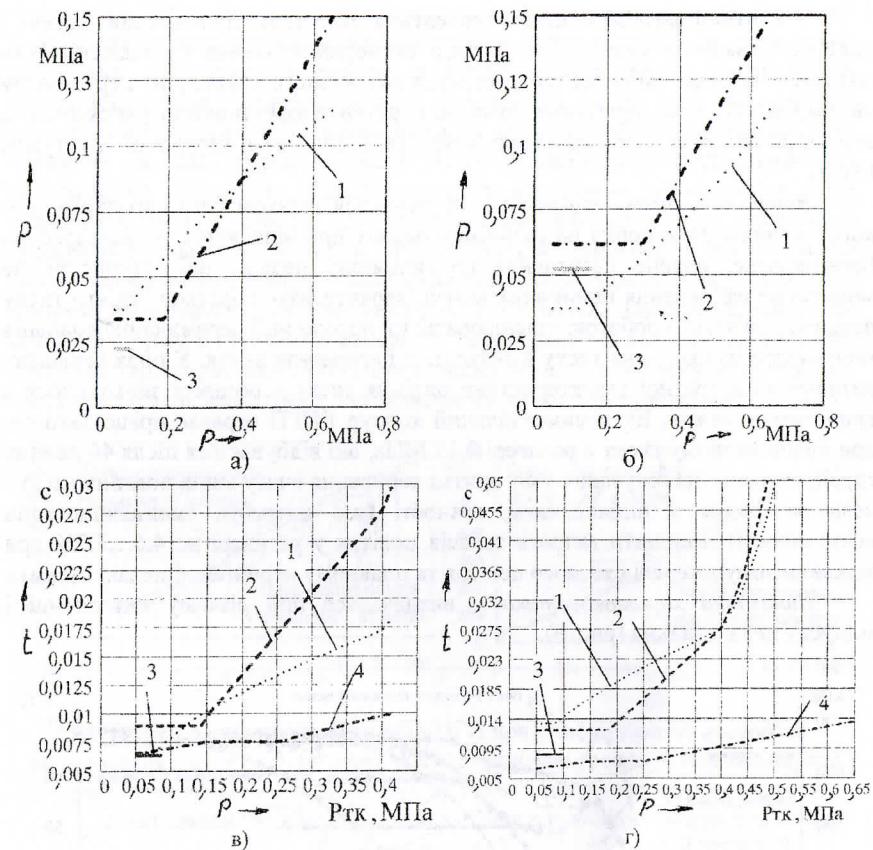


Рис. 8. Параметри відповідності контура ЕПГП параметрам АТЗ:
 а) та б) – допустимі значення уставок тиску для задньої осі порожнього та навантаженого автомобіля відповідно; в) та г) – допустимий час відкритого стану клапана контура передньої осі порожнього та навантаженого АТЗ відповідно; 1 – за умови забезпечення комфортабельності; 2 – за умови допустимої бортової нерівномірності; 3 – за умови здатності регулювання тиску на льоду; 4 – реальне значення $T_{\text{відкр.стан}} \text{ min}$

Найбільш складно забезпечити комфортабельне гальмування передньою віссю АТЗ. Для неї не завжди вдається забезпечити умову (5). Цим пояснюється застосування в гальмівних системах фірми WABCO для керування гальмівними камерами задньої осі одного релейного електроневматичного модулятора, а для керування гальмівними камерами передньої вісі комбінації з квазіпропорційного модулятора ЕПГП і релейних модуляторів АБС.

Наповнюючи контур ЕПГП уставками тиску, що не перевищують допустимої величини, одержимо квазіпропорційну статичну характеристику $\Delta j = f(F_{\text{нп}})$ (увопільнення – зусилля на педалі гальма).

У п'ятому розділі описано проведення експериментальних досліджень і виконано аналіз їх результатів. У ході експериментальних досліджень були визначені декілька робочих характеристик гальмівного приводу на нерухомому автомобілі. Ці характеристики дозволили оцінити ефективність удосконалень внесених автором у конструкцію апаратів і алгоритм керування контуром ЕПГП.

Витратна характеристика – визначалася шляхом багатократного, різкого, повного натиснення на гальмівну педаль при відключеному компресорі. Багатократне, плавне натиснення на гальмівну педаль, що забезпечує не монотонне наповнення гальмівних камер, характеризує додаткові втрати тиску повітря, пов’язані з роботою підсилювальних порожнин і перемікання клапанів модулятора на скидання тиску в результаті перерегулювання. У обох варіантах визначення витратної характеристики падіння тиску в ресивері знаходилося в допустимих межах. Експериментальний контур ЕПГП втрачає працездатність при надлишковому тиску в ресивері 0,15 МПа, що відбувається після 46 повних спрацьовувань. Застосування у алгоритмі керування «часу вирівнювання тиску» дозволяє разом з підвищеннем точності (що потребує зменшення зони нечутливості) зменшити витрати запасів повітря у ресивері на 4,6...7,7% при відключеному джерелі стислого повітря та плавному переміщенні педалі гальма.

Динамічна характеристика – визначалася при різкому натисненні і відпуску педалі гальма (рис. 9).

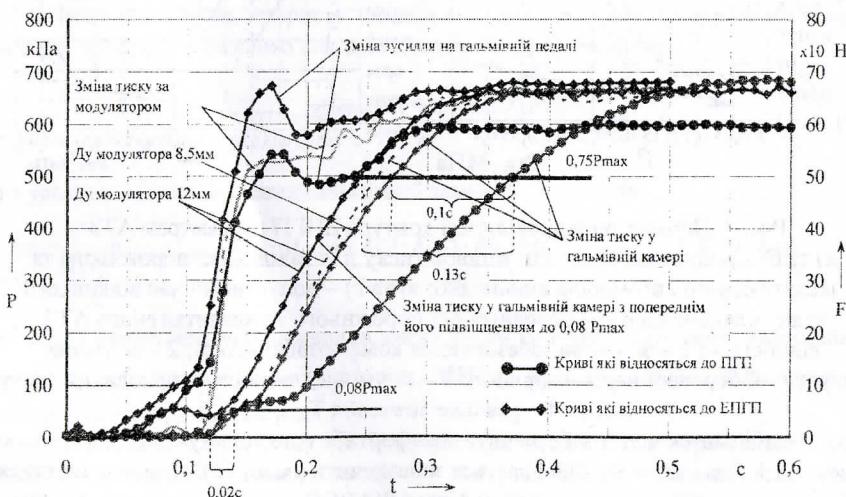


Рис. 9. Динаміка наповнення гальмівних камер задньої осі ЕПГП і ПГП

Порівняльний аналіз наповнення і спорожнення гальмівних камер з ЕПГП і ПГП показує збільшення швидкодії на 0,1 с для впускання і 0,15 с для випуску повітря з гальмівних камер. При початковій швидкості гальмування 60 км/год таке збільшення швидкодії дає скорочення гальмівного шляху на 1,5 м. Це відбувається за рахунок швидшого приведення в дію гальмівних механізмів в

період руху АТЗ із швидкістю близькою до початкової швидкості гальмування. Додатковим резервом скорочення гальмівного шляху є попереднє приведення гальмівних механізмів в робоче положення після переміщення штока гальмівної камери і вибору зазорів гальмівного механізму. Застосування попереднього наповнення гальмівної камери для приведення в дію гальмівного механізму на стадії торкання педалі гальма дозволяє збільшити швидкодію додатково на 0,03 с без збільшення темпу наростання уповільнення. Таке підвищення тиску дозволяє скоротити гальмівний шлях при екстреному гальмуванні додатково на 0,5 м при початковій швидкості гальмування 60 км/год. Таким чином, сумарне зменшення гальмівного шляху складає 2 м, що є значним покращанням для одиночного АТЗ. **Статична характеристика** – це залежність тиску в гальмівній камері від переміщення педалі гальма (рис. 10). Статична характеристика ЕПГП представляє площу, обмежену кривими, які описують ступені зміни тиску, що визначають точність регулювання.

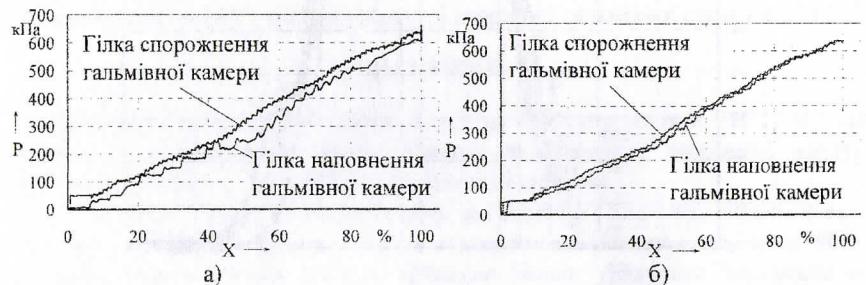


Рис. 10. Статична характеристика ЕПГП при комбінованому алгоритмі регулювання: а) – з модулятором, що має один електромагнітний клапан для керування впусканням мембрanoю; б) – при з модулятором що має два електромагнітні клапани для керування впусканням мембрanoю

У порівнянні зі статичними характеристиками які отримані під час пошукового експерименту характеристики визначені після удосконалення модулятора (рис. 10) забезпечують поліпшення точності регулювання на 7,4...13,9%. На рис. 10 б, можна спостерігати процес попереднього підвищення тиску до 0,05 МПа при 2% переміщення педалі гальма. Оцінка працездатності двомагістрального захисного клапана проводилася при стендових і дорожніх випробуваннях у складі контура аварійної гальмівної системи ЕПГП. При проведенні досліджень визначалися його швидкодія, мінімальний тиск, при якому клапан утримує захисний контур у закритому стані, а також час приведення захисного контура в дію.

Проведені випробування показали, що захисний клапан практично не робить впливу на час наповнення гальмівної камери, що узгоджується з розрахунковими даними. Різниця в часі при наповненні гальмівної камери із захисним клапаном і без нього лежить в межах 0,01–0,025 с. Загальний час спрацьовування ЕПГП від моменту натиснення на педаль гальма і до

наповнення 75 % максимального тиску гальмівної камери складає 0,28–0,3 с, а час розгальмовування гальмівної камери 0,33–0,35 с.

Сумісність двомагістрального захисного клапана з контуром ЕПГП забезпечується гарантованим закриттям захисного клапана до наростання тиску в контурі аварійної гальмівної системи. Для встановлення цього факту в контурі аварійної гальмівної системи був встановлений датчик тиску. Тиск у контурі робочої гальмівної системи ЕПГП наростиє швидше, ніж тиск у контурі аварійної гальмівної системи (рис. 11). Використання алгоритму з попереднім підвищенням тиску в гальмівній камері забезпечує закриття захисного клапана ще до початку зростання тиску в гальмівному крані.

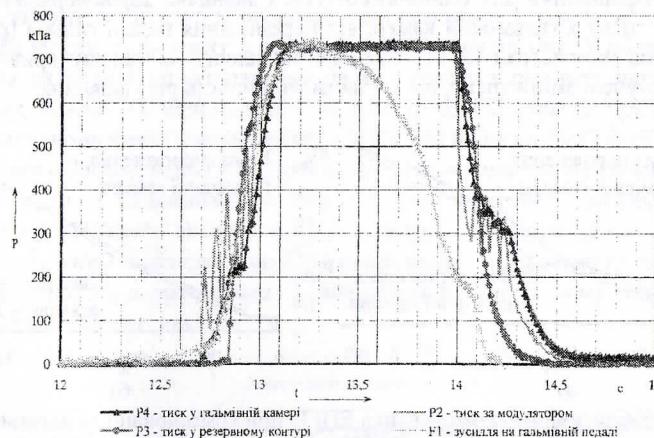


Рис. 11. Перехідний процес зміни тиску у контурі аварійної гальмівної системи при справному контурі робочої гальмівної системи ЕПГП

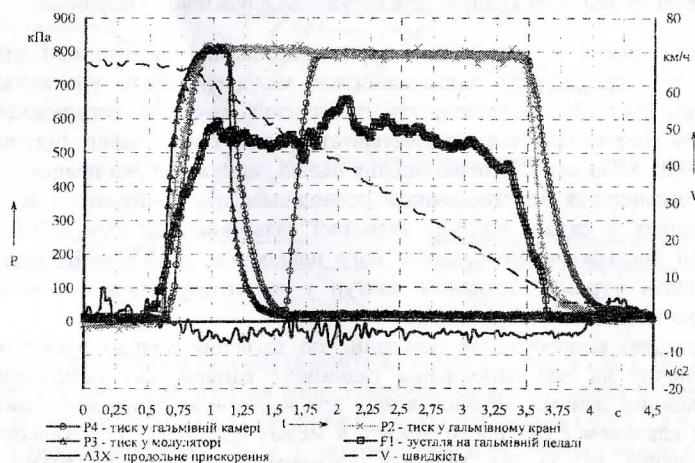


Рис. 12. Перехідний процес зміни тиску у гальмівній камері при імітації виходу з ладу робочої гальмівної системи

Аварійною характеристикою контура ЕПГП є зміна тиску в гальмівній камері при несправності якого-небудь елемента гальмівного приводу (рис. 12). Для імітації аварійної ситуації в електронний блок керування була запрограмована тестова програма. Робота програми імітувала несправність, яка еквівалентна виходу з ладу будь-якого з електромагнітів або відсутністю напруги в бортовій мережі. В процесі гальмування програмним способом електронний блок керування переводив модулятор у режим спорожнення гальмівних камер після досягнення максимального тиску повітря (рис. 12). Гальмівна педаль залишалася натиснутую, за рахунок чого тиск в контурі аварійної гальмівної системи підтримувався на заданому водієм рівні. Після падіння тиску в гальмівній камері до мінімального тиску 0,02 МПа захисний клапан перемикається в режим роботи аварійної гальмівної системи і гальмівні камери починали заповнюватися з контура аварійної гальмівної системи. У цілях безпеки гальмування передньою віссю здійснювалося контуром ПГП, тиск в якому змінювався синхронно з тиском у контурі аварійної гальмівної системи ЕПГП.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання показав, що на серійних зразках ЕПГП під час виходу з ладу електромагнітного клапана який блокує аварійний контур порушується працездатність робочої гальмівної системи.
2. Розроблена математична модель, що включає динамічну модель електромагнітного клапана, показала збіг з експериментальними даними на 90%. Подальше вдосконалення моделі можливо якщо урахувати коливальний характер вирівнювання тиску повітря в контурі релейного ЕПГП.
3. Визначена залежність часу спрацювання мембрани від основних параметрів електромагнітного клапана:
 - умовного діаметра електромагнітного клапана (з урахуванням оптимальної індуктивності електромагніта);
 - напруги живлення;
 - кількості електромагнітних клапанів у одному каскаді посилення;
 - тиску повітря яке діє з обох сторін електромагнітного клапана.
4. Вдосконалена конструкція модулятора має швидкодію 0,008 с та забезпечує час відкритого стану клапана 0,0065 с. Швидкодія модулятора визначається:
 - об'ємом підсилювальної порожнини;
 - прохідними перерізами електромагнітних клапанів та їх швидкодією;
 - величиною обмеження тиску в підсилювальної порожнині;
 - перепадом тиску що діє на різні функціональні поверхні мембрани.
5. Розроблений двомагістральний захисний клапан забезпечує автоматичне спрацювання аварійної гальмівної системи ЕПГП і виводить АТЗ на початковий рівень уповільнення через 0,55с після виходу з ладу робочої гальмівної системи. Запропонована конструкція аварійної гальмівної системи з

двомагістральним захисним клапаном не мають електрических компонентів які впливають на її працездатність.

6. Експериментально підтверджена сумісність, працездатність та ефективність розроблених контурів робочої і аварійної гальмівної системи.

7. Ефективність гальмування одиночного АТЗ:

- робочою гальмівною системою зросла на 2...10 % (залежно від початкової швидкості гальмування);

- аварійною гальмівною системою зросла у 1,5...2 рази по відношенню до нормативної.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Туренко А. Н. Конструкции существующих электропневмоприводов и их недостатки / А. Н. Туренко, В. И. Клименко, В. А. Богомолов, Н. Г. Михалевич // Автомобильный транспорт. [Сб. науч. трудов]. – 2001. – №7–8. – С. 209 – 211.

2. Туренко А. Н., Работа электропневмопривода в аварийном режиме / А. Н. Туренко, В. И. Клименко, В. А. Богомолов, С. Я. Ходырев, Н. Г. Михалевич // Вестник ХГАДТУ. [Сб. науч. трудов]. – 2002. – № 17. – С. 26-27.

3. Туренко А. Н. Алгоритмы управления электропневматическими модуляторами давления / А. Н. Туренко, В. И. Клименко, В. А. Богомолов, С. Я. Ходырев, Н. Г. Михалевич // Автомобильный транспорт. [Сб. науч. трудов]. – 2003. – № 13 – С. 157–159.

4. Клименко В. И. Экспериментальные исследования динамики электропневматического тормозного привода / В. И. Клименко, Н. Г. Михалевич, А. А. Чебан, А. Н. Красюк // Автомобильный транспорт. [Сб. науч. трудов]. – 2005. – №16. – С. 156–158.

АНОТАЦІЯ

Михалевич М.Г. Вдосконалення електропневматичних апаратів гальмівного приводу автотранспортних засобів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2009.

Дисертація присвячена вдосконаленню процесу гальмування електропневматичним гальмівним приводом, розробці математичної моделі, що дозволяє сумісно вирішувати рівняння електро- та газової динаміки. Математична модель на основі методу із зосередженими параметрами, запропонованого О.В. Герц, була адаптована автором для розрахунків релейного ЕПГП. Всебічно досліджена робота контура ЕПГП та каскаду посилення модулятора тиску. Удосконалена методика визначення відповідності модулятора транспортному засобу. Узагальнені і уточнені вимоги до статичної характеристики в частині введення вимоги забезпечення бортової нерівномірності гальмівних сил згідно з правилами ЄЕК ООН.

У результаті теоретичних та експериментальних досліджень були запропоновані та реалізовані вдосконалення в конструкції модулятора тиску та в алгоритмі керування контуром ЕПГП.

Ключові слова: електропневматичний гальмівний привід, статична характеристика, аварійна гальмівна система, модулятор, мембра, електромагнітний клапан, електро- і газова динаміка.

АННОТАЦІЯ

Михалевич Н.Г. Совершенствование электропневматических аппаратов тормозного привода 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 2009.

Диссертация посвящена усовершенствованию процесса торможения электропневматическим тормозным приводом.

На основании анализа переходных процессов определённых во время проведения поискового эксперимента были предложены пути совершенствования конструкции модулятора давления, конструкции контура аварийной тормозной системы и алгоритма управления контуром электропневматического тормозного привода. Теоретические исследования проводились с использованием метода с сосредоточенными параметрами, предложенного Е.В. Герц, который был адаптирован автором для расчётов релейного электропневматического тормозного привода. В результате математического моделирования были подтверждены предположения выдвинутые во время поискового эксперимента. Предложенные усовершенствования нашли отражение в конструкции модулятора давления, а именно: 1 – установка обратного клапана между напорной полостью модулятора и усилительными полостями мембранных клапанов, 2 – установка клапана ограничения давления, предотвращающего полное опорожнение усилительной полости впускной мембранны, 3 – установка двух электромагнитных клапанов управляющих впускной мембрани.

В алгоритм управления добавлены дополнительные границы, которые вместе с зоной нечувствительности образуют коридор, в котором электромагнитные клапана работают по законам широтно-импульсной модуляции. Это обеспечивает минимальное повышение давления при плавном перемещении педали тормоза. Дополнение алгоритма управления таким параметром, как «время выравнивание давления» позволило снизить расход воздуха исключив эффект открытия выпускного клапана модулятора при перерегулировании.

В результате математического моделирования процессов в контуре электропневматического тормозного привода впервые совместно решены уравнения динамики электромагнитного клапана и пневматической части привода. Усовершенствование методика определения соответствия модулятора транспортному средству. Обобщены и уточнены требования к статической характе-

ристике в части введения требования обеспечения бортовой неравномерности тормозных сил согласно правилам ЕЭК ООН.

Результаты математического моделирования получили экспериментальное подтверждение. Внесённые усовершенствования показали хорошее качество работы. Проведенные испытания предложенной конструкции контура аварийной тормозной системы показали её высокую эффективность. Внедрение в статическую характеристику предварительного повышения давления, обеспечивающего выборку зазоров тормозного механизма, позволило сократить тормозной путь в среднем на 0,5 метра, а в сравнении с пневматическим тормозным приводом на 2 метра.

Ключевые слова: электропневматический тормозной привод, статическая характеристика, аварийная тормозная система, модулятор, мембрана, электромагнитный клапан, электро- и газовая динамика.

ABSTRACT

Mikhalevich N.G. The perfection electropneumatic device of the brake drive vehicles. – a Manuscript.

Thesis on competition degree Candidate of Engineering Sciences in specialty 05.22.02 – automobiles and tractors. -- Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov, 2009.

The Thesis is dedicated to improvement of the process of the braking electropneumatic brake drive, development to mathematical model, which allows together to solve the equations electro- and gas dynamic. The mathematical model on base of the method with concentrated parameter, offered by E.V. Hertz, was adapted by author for calculation relay-type electropneumatic brake drive. All-round explored functioning (working) the sidebar electropneumatic brake drive and cascade of the reinforcement of the modulator of the pressure. The perfection methods of the determination of the correspondence to of the modulator transport facility. They are generalized and elaborated requirements to steady-state feature by way of the entering the provision on-board unevenness of brake power according to rule EEK UNO.

As a result theoretical and experimental studies were offered and marketed improvements in designs of the modulator of the pressure and in algorithm of management sidebar electropneumatic of the brake drive.

The Keywords: electropneumatic brake drive, steady-state feature, emergency brake system, modulator, membrane, electromagnetic valve, electro- and gas track record.

Підписано до друку 25.09.2009 р. Формат 60×90 1/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Віддруковано на різографі. Умовн. друк. арк. 0,9.

Замовлення № 612/09. Тираж 100 прим. Ціна договірна.

ВИДАВНИЦТВО
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61200, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, е-mail: rio@khadi.kharkov.ua

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення
та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів
видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04 2002 р.