

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Бондаренко Анатолій Ігорович

УДК 629.113-592.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МОДУЛЯЦІЇ ТИСКУ В
ПНЕВМАТИЧНОМУ ГАЛЬМІВНОМУ ПРИВОДІ АВТОМОБІЛІВ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гецович Євгеній Мойсейович,
Харківській національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри транспортних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Подригало Михайло Абович,
Харківській національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри технології
машинобудування і ремонту машин;

кандидат технічних наук, доцент
Степанов Віктор Юрійович,
Харківська державна академія культури,
декан факультету менеджменту.

Захист відбудеться “24” березня 2010 р. о 12.00 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 у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

Автореферат розісланий

“20” лютого 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Наглюк І.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тип і особливості гальмівного приводу суттєво впливають на робочі процеси антиблокувальної системи (АБС) і повинні враховуватися при синтезі алгоритму її функціонування та виконавчого органу – модулятора тиску.

Обладнання автотранспортних засобів (АТЗ) АБС збільшує витрату стислого повітря при екстремому гальмуванні в порівнянні зі звичайними гальмівними системами. Це обумовлено перш за все тим, що при екстремому гальмуванні пневматичний привід працює в циклічному режимі і процес наповнення та спорожнення виконавчих апаратів за одне гальмування повторюється багато разів. Тому проведення теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на вдосконалення процесів модуляції та поліпшення динамічних характеристик пневматичного гальмівного приводу (ПГП), є важливим етапом в створенні високоефективних АБС, що забезпечують суттєве підвищення активної безпеки руху та продуктивності великовантажних автомобілів і автопоїздів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” що до проблеми "Розробка наукових основ синтезу трансмісій і адаптивних гальмівних систем транспортних машин в агропромисловому комплексі України" (ДР № 0104U003359). Роль автора у виконанні цієї науково-дослідної роботи – оцінка на математичних моделях витрати запасів стислого повітря при широтно-імпульсній модуляції (ШІМ), вибір і розробка конструктивної схеми модулятора тиску для реалізації ШІМ, розробка програмної реалізації для моделювання гальмування вантажного автомобіля з АБС.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є зменшення витрати робочого тіла за рахунок удосконалення процесів модуляції тиску в ПГП автомобілів.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

– проаналізувати існуючі способи модуляції тиску в ПГП та конструкції модуляторів тиску, які реалізують ці способи, з метою вияву напряму удосконалення процесів модуляції тиску в ПГП АТЗ;

– провести теоретичне дослідження впливу схеми розташування та конструкції модулятора тиску на час спрацювання ПГП та витрату запасів стислого повітря при ШІМ;

– виконати теоретичне та експериментальне дослідження впливу прохідних перетинів та частоти спрацювання модулятора тиску на витрату запасів стислого повітря і працездатність модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії при ШІМ;

– вирішити завдання оптимізації прохідних перетинів модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами і коефіцієнтів пробної дії та чутливості по узагальненому критерію, який враховує мінімізацію витрат робочого тіла,

гальмівного шляху (при прямолінійному русі) та відхилення від заданої траєкторії (при криволінійному русі);

– оцінити вплив основних параметрів АБС з модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії при ШІМ на процес гальмування автомобіля та розробити рекомендації що до їх вибору.

Об’єкт дослідження – перехідні процеси в ПГП автомобіля з АБС.

Предмет дослідження – закономірності впливу прохідних перетинів модулятора тиску на витрату запасів стислого повітря та якість регулювання.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань застосовувалися наступні методи: чисельні методи рішення диференціальних рівнянь, метод порівнянь і аналогій для вибору місця розташування модулятора тиску в ПГП, статистичний метод для визначення погрішності при зіставленні теоретичних і експериментальних результатів, теорія оптимізації для вибору прохідних перетинів модулятора тиску і коефіцієнтів пробної дії та чутливості.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

– виконана кількісна оцінка впливу прохідних перетинів модулятора тиску на витрату запасів стислого повітря при ШІМ;

– виконано оптимізації прохідних перетинів модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами і коефіцієнтів пробної дії та чутливості по узагальненому критерію, який враховує мінімізацію витрат робочого тіла, гальмівного шляху (при прямолінійному русі) та відхилення від заданої траєкторії (при криволінійному русі);

– розроблено рекомендації з формування пульсуючого сигналу при гальмуванні АТЗ з ПГП (обладнаного АБС із ШІМ) для підвищення гальмівної ефективності, керованості та стійкості автомобіля, що полягає у формуванні змінних значень коефіцієнтів пробної дії та чутливості в залежності від дорожніх умов та навантаження на колеса.

Отримали подальший розвиток:

– визначення впливу схеми розташування та конструкції модулятора тиску на час спрацювання ПГП та витрату запасів стислого повітря при ШІМ.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена методика вибору основних параметрів модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами може бути використана як при проектуванні нових, так і при проведенні модернізації існуючих АБС з модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії при ШІМ для АТЗ з ПГП.

Запропонований варіант модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії може бути використаний при модернізації АТЗ із ПГП.

Результати проведеного дослідження застосовано у ДНВП “Об’єднання Комунар” при складанні технічного завдання на розробку АБС для вантажного автомобіля КрАЗ (№ ІЯЕВ 271/42-2006).

Результати дослідження використовуються в НТУ “ХПІ” в навчальному процесі студентів за напрямом 6.050503 – “Колісні та гусеничні транспортні засоби”, 6.070106 – “Автомобілі та автомобільне господарство”.

Особистий внесок здобувача. Особисто автором опубліковано 6 робіт [1-6]. У наукових працях, опублікованих із співавторами, особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- виконав порівняльний аналіз конструкцій модуляторів тиску для ПГП [7];

- склав та вирішив системи диференціальних рівнянь для різних схем розташування модулятора тиску в ПГП, зробив висновки що до впливу схеми розташування та прохідних перетинів модулятора тиску на витрату запасів стислого повітря в ПГП [8];

- отримав та проаналізував результати математичного моделювання роботи ділянки ПГП з АБС (модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами) [9, 13];

- виконав порівняльний аналіз результатів теоретичного та експериментального дослідження модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами [10];

- виконав моделювання процесу гальмування вантажного автомобіля з ПГП і АБС, яка обладнана модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами, і перевірів вплив змінних коефіцієнтів чутливості та пробної дії на ефективність гальмування, керованість і стійкість [11];

- розробив конструктивну схему модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами [12].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на:

- XIII – XVI міжнародних практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків 2005 – 2008 р.);

- IV – VII міжнародних семінарах “Перспективи розвитку автомобіле- і тракторобудування” (м. Харків 2005 – 2008 р.);

- міжнародній науково – практичній конференції “Технічний прогрес в АПК” (м. Харків 2008 р.).

У повному обсязі дисертаційну роботу обговорено та схвалено на засіданні кафедри автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (2009 р.), кафедри автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (2009 р.) та спільному науковому семінарі кафедр транспортних систем, технічної експлуатації і сервісу автомобілів, автомобільної електроніки, автомобілів, технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (2009 р.).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 11 статей у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові, отримано патент України на корисну модель, опубліковано одну тезу доповіді на конференції.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 203 сторінки, в тому числі 72 рисунка на 32 сторінках, 12 таблиць на 8 сторінках, 5 додатків на 34 сторінках і список використаних джерел з 217 найменувань на 24 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, викладені положення, що визначають наукову новизну та практичне значення роботи.

У першому розділі розглянуто стан питань, пов'язаних з вибором способу модуляції тиску в ПГП. Проведено огляд існуючих способів модуляції тиску.

Численні роботи, що вміщують результати випробувань різноманітних АБС, відзначають позитивний вплив АБС на гальмівну динаміку. Проте, все ж таки виникають деякі проблеми, пов'язані з підвищеними витратами стислого повітря у ПГП, характером процесу регулювання та ін., які необхідно вирішувати для підвищення стійкості та керованості автомобіля, зменшення витрат запасів робочого тіла, а також зниження собівартості елементів АБС.

Питанням по створенню і дослідженню АБС присвячені праці Автушка В.П., Альокси М.М., Ахметшина А.М, Баличева С.М., Борисова П.П., Гецовича Є.М., Гредескула А.Б., Грішкевича А.І., Гуревича Л.В., Іларіонова В.А., Ірсалієва А.О., Кишкевича П.Н., Косолапова Г.М., Кочиняна Г.Д., Кравца Ф.К., Тхо Л.Т., Лігай В.В., Ліхарева Б.М., Ломаки С.І., Луніна Г.П., Ляхова С.В., Майстренка С.П., Мальцева М.Г., Мамяна С.З., Меламуда Р.А., Мартінсона П.М., Метлюка М.Ф., Морозова Б.І., Мочалова В.В., Первишина М.М., Петрова М.А., Полуектова В.В., Пчеліна І.К., Рашидова Н.Р, Ревіна О.О., Рижиха Л.О., Савельєва Б.В., Салмана А.Х., Северіна О.О., Серікбаєва Б.С., Ткаченка Ю.В., Фалькевича Б.С, Федосова О.С., Флерко І.М., Фрумкіна А.К, Ходирєва С.Я, Цванга А.М., Юдакова Б.Ф., Abboud P., Aocky Do., Burkhardt M., Blanz R., Bouchard P., Bowker G.S., Charles E.R., Colin F.R., Friederichs O., Fukami M., Grabowski J., Hallett R.C., Ho T., Koester H., Leiber H., Mitschke M., Puleo C., Rothen J., Rosendahl H., Schlichenmaier A., Schmidt D., Schramm H., Stanusch G., Stumpe W., Wiegner P., Wieland R., Wolff H. та ін.

Посилено ведуться роботи по вдосконаленню АБС такими всесвітньо відомими компаніями, як Knorr Bremse Systeme, Wabco, Bendix Commercial Vehicle Sys, Bosch, Haldex, AlliedSignal та ін.

З урахуванням тенденцій розвитку та обсягу застосування в роботах Ахметшина А.М, Гецовича Є.М. Северіна О.О. Альокси М.М., Ломаки С.І. виділяються наступні способи модуляції: релейний, з керованою пульсацією, лінійний безперервний та нерелейний. Не зважаючи на те, що лінійний безперервний відноситься до нерелейного способу, його відокремлено від

основної групи, тому що він є одним з найперспективніших способів, який потребує додаткової уваги.

Дана робота виконана в розвиток робіт з удосконалення дуальних адаптивних систем керування гальмуванням. Для реалізації таких законів керування, як відмічено в працях Гецовича Є.М., необхідно мати модулятор тиску з лінійною характеристикою. Модулятори цієї групи повинні реалізувати прямо пропорційну залежність тиску в гальмівній камері від величини сигналу. В зв'язку з тим, що на теперішній час створення таких модуляторів тиску не є можливим, більш перспективним являється застосування ШІМ, яка забезпечує додержання пропорційності між середнім тиском в гальмівній камері від шпаруватості сигналу.

Широтно-імпульсна модуляція при управлінні гальмуванням автомобіля полягає в циклічному загальмовуванні та розгальмуванні колеса при безперервному коректуванні співвідношення тривалості фаз загальмовування і розгальмування. Така модуляція реалізується подачею на модулятор тиску імпульсного сигналу постійної частоти та змінної шпаруватості. Під шпаруватістю розуміють параметр, що представляє собою відношення тривалості фази спорожнення до періоду сигналу.

Аналіз існуючих способів модуляції тиску в ПГП показав наступне:

- релейні АБС для автомобілів з ПГП не в змозі забезпечити прийнятну якість регулювання із-за низьких адаптивних властивостей та недосконалості їх виконавчої частини;

- лінійна безперервна модуляція тиску являється найбільш перспективною в зв'язку з високою адаптивною властивістю, зменшеною витратою робочого тіла, в той же час найменш поширеною по причині відсутності працездатної виконавчої частини АБС – модулятора тиску;

- існуючі АБС, якими обладнуються АТЗ із ПГП, мають досить суттєвий недолік: недостатню якість регулювання;

- застосування ШІМ забезпечує більш високі адаптивні властивості АБС за рахунок зміни шпаруватості в процесі гальмування в залежності від умов навантаження та зчеплення і, відповідно, вищу якість регулювання при достатньо простій конструкції модулятора тиску, але при цьому спостерігаються підвищені витрати робочого тіла, що доведено в роботах Гецовича Є.М., Северина О.О. та ін.

З урахуванням аналізу способів модуляції тиску в гальмівному приводі та виконавчих органів, що забезпечують їх реалізацію, сформульована мета і завдання дослідження.

Другий розділ присвячений вияву впливу місця розташування та конструкції модулятора тиску на час спрацювання гальмівного приводу та витрату робочого тіла.

Об'єктом дослідження виступають перехідні процеси в ПГП. При цьому в якості базового ПГП обрано робочу гальмівну систему автомобіля КрАЗ-6510.

Питаннями дослідження робочих процесів ПГП АТЗ займалися такі вчені, як Бартош П.Р., Біленький Ю.Б., Богомолів В.О., Вітков Г.А., Герц О.В., Гликман Б.Ф., Дольберг В.І., Жестков В.В., Ідельчик І.Є., Казаринов В.М., Кравець Ф.К., Крамський О.В., Клименко В.І., Метлюк М.Ф., Нагорняк С.Г., Погорелов В.І., Рижих Л.О., Туренко А.М., Шипилін А.В. та ін. Але все ж таки залишається питання що до вибору методу для опису перехідних процесів в ПГП, який би підходив для різних режимів гальмування автомобіля, мав як можна меншу похибку та широке застосування вченими, що займаються цим питанням.

З метою виконання теоретичного дослідження впливу схем розташування модулятора тиску та площ прохідних перетинів на час спрацювання ПГП та витрату запасів стислого повітря були обрані для складання математичної моделі ПГП методи М.Ф. Метлюка та О.В. Герц. Такий вибір обумовлений найбільшою їх достовірністю, поширеністю та популярністю серед інженерів, що займаються динамікою ПГП. Основна відмінність диференціальних рівнянь для цих двох методів полягає в різних функціях витрати. При цьому метод М.Ф. Метлюка, як правило, застосовується для опису перехідних процесів в ПГП при робочому гальмуванні, а метод О.В. Герц – при робочому та екстремому, тобто роботі ПГП в циклічному режимі.

Для вирішення поставленого завдання були складені диференціальні рівняння, що описують перехідні процеси в першому контурі ПГП автомобіля КраЗ-6510 при різноманітних схемах розташування модулятора тиску (пневматичний гальмівний кран – модулятор тиску – клапан прискореної дії – гальмівна камера (схема 1); пневматичний гальмівний кран – модулятор тиску – гальмівна камера (схема 2); пневматичний гальмівний кран – клапан прискореної дії – модулятор тиску – гальмівна камера (схема 3).

Результати, отримані шляхом імітаційного математичного моделювання, дозволили виявити, що для опису перехідних процесів в ПГП як при робочому гальмуванні, так і роботі привода в циклічному режимі доцільніше використовувати метод Герц О.В. (теоретичні результати, отримані за методом Метлюка М.Ф, можуть відрізнятись від експериментальних більш ніж на 30%).

Найменший час наповнення та спорожнення гальмівних камер першого контуру ПГП спостерігається при розміщенні модулятора тиску за першою схемою, максимальний – при розташуванні за другою схемою.

Результати математичного моделювання довели, що значну економію стислого повітря при роботі АБС з ШІМ можна досягти, застосувавши модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами, розташувавши його перед клапаном прискореної дії.

Під змінними прохідними перетинами розуміються площі прохідних перетинів модулятора тиску, які дозволяють наповнення виконавчих апаратів при гальмуванні автомобіля без роботи АБС виконувати через максимальні прохідні перетини, еквівалентні діаметру 10 мм (з максимальною інтенсивністю), а при вступі до роботи АБС площі прохідних перетинів зменшуються до діаметрів, які визначаються шляхом рішення задачі оптимізації, і не змінюються до закінчення процесу гальмування з АБС.

Розміщення модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами за першою схемою (пневматичний гальмівний кран – модулятор тиску – клапан прискореної дії – гальмівна камера) є найкращим як з погляду спрацювання гальмівного приводу, так і витрат запасів стислого повітря при екстреному гальмуванні.

Правильно підібрані площі змінних прохідних перетинів модулятора тиску дозволяють не перевищити допустимі норми падіння тиску в ресиверах за час гальмування.

Третій розділ присвячений експериментальному дослідженню модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії з метою перевірки його працездатності, функціональної придатності та визначення необхідної потужності електромагніту.

Стенд для випробувань представляє собою модернізовану гілку першого контуру ПГП автомобіля КрАЗ – 6510, яка складається з модулятора тиску (рис 1), ресиверів, клапана прискореної дії, компресора, кранів, виконавчого апарату, джерела живлення, датчиків тиску та інших приладів та апаратури (рис. 2).

Рис. 1. Модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами (зразок для дослідження): а – конструктивна схема, б – модулятор тиску в розібраному стані.

Зміна прохідних перетинів модулятора тиску (поз. 5 рис. 2) відбувається за рахунок заміни дроселів 1, 2 (рис. 1 а).

Завдання випробування полягали в:

а) оцінці стабільності підтримки тиску у виконавчому апараті за відсутності напруги на котушці електромагніту;

б) визначенні числа витків котушки електромагніту ($n=n_{max}$, $n=0,75 \cdot n_{max}$, $n=0,5 \cdot n_{max}$, $n=0,25 \cdot n_{max}$), що управляє, при яких можлива модуляція тиску в виконавчому апараті;

в) визначенні залежності витрати стислого повітря на пульсацію тиску в гальмівній камері та порожнині клапана прискореної дії, що управляє, від частоти пульсації напруги, шпаруватості сигналу, площ прохідних перетинів модулятора тиску.

Рис. 2. Стенд для проведення експериментальних досліджень:

а – схема стенду; б – загальний вигляд стенду; 1, 9 – ресивер; 2 – стрілочний манометр; 3 – трубопровід; 4, 14 – кран роз'єднувальний; 5 – модулятор тиску; 6 – джерело імпульсних сигналів з аналого – цифровим перетворювачем; 7 – джерело живлення; 8 – компресор; 10 – клапан прискореної дії; 11 – виконавчий апарат; 12 – датчик тиску; 13 – комп'ютер.

Шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що котушка модулятора тиску, що складається з 1200 витків із діаметром дроту 0,74 мм при

подачі напруги з джерела живлення 24 В дозволяє реалізувати фазу спорожнення, при 12 В – фазу наповнення керуючої порожнини клапана прискореної дії через змінні прохідні перетини.

Для порівняння експериментальних результатів з теоретичними враховано витрати стислого повітря при різних частотах спрацювання електромагніту модулятора тиску після п'ятнадцяти секунд роботи першого контуру ПГП автомобіля КрАЗ – 6510 в циклічному режимі (рис. 3). Найбільші витрати стислого повітря спостерігаються при шпаруватості 0,5 як при теоретичному, так і експериментальному дослідженні.

При моделюванні процесу гальмування автомобіля з АБС можуть з'явитися результати, які відрізняються від виявлених вище щодо витрати стислого повітря. Це пояснюється перш за все тим, що алгоритм, по якому функціонує АБС з ШІМ, передбачає постійну можливу зміну шпаруватості навіть до моменту встановлення максимального тиску в виконавчих апаратах, тому затрати часу та стислого повітря будуть значно меншими на встановлення необхідного середнього тиску в гальмівній камері, ніж ті, що наведені на рис. 3.

Рис. 3. Зниження тиску в ресивері в залежності від прохідних перетинів модулятора при шпаруватості 0,5: а – частота сигналу 5 Гц; б – частота сигналу 7 Гц.

Експериментальне дослідження підтвердило неможливість зниження витрат стислого повітря за рахунок підвищення частоти спрацювання модулятора тиску (9 Гц і більше) для розробленої конструкції модулятора. Суттєве зниження витрат робочого тіла досягається за рахунок зменшення площ прохідних перетинів.

Робочий діапазон частот модулятора тиску, при яких можлива реалізація фаз спорожнення та наповнення через змінні прохідні перетини у діапазоні зміни шпаруватості $0,1 \leq C \leq 0,9$, складає 5 – 7 Гц.

Порівняння результатів, отриманих теоретично та експериментально, показало, що при модуляції тиску з діаметрами прохідних перетинів модулятора тиску 0,5 – 1,25 мм та частоті пульсації 5 – 7 Гц похибка не перевищує 9,1%.

Надмірне зменшення площ прохідних перетинів може спричинити зниження адаптивних властивостей АБС, тому вибір площ необхідно звести до вирішення задачі оптимізації як мінімум по двох критеріях: по ефективності гальмування та витраті робочого тіла.

У четвертому розділі проведено теоретичне дослідження впливу основних параметрів модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії на процес гальмування автомобіля, розроблений програмний комплекс для математичного моделювання процесу гальмування АТЗ, обладнаного АБС, виявлено оптимальні параметри модулятора тиску, які дозволяють досягти максимальну з можливих для запропонованих умов формування пульсуючого сигналу ефективність гальмування, мінімальні

витрати стислого повітря, мінімальне відхилення від заданої траєкторії при криволінійному русі.

Дослідженню динаміки руху вантажних автомобілів присвячені численні праці Антонова Д.А., Біленького Ю.Г., Булгакова М.О., Волкова В.П., Генбома Б.Б., Гесслера Н.А., Гредескула А.Б., Грігоряна В.Г., Зімельова Г.В., Іларіонова В.О., Кльопіка М.К., Косолапова Г.М., Литвинова О.С., Мащенко О.Ф., Павленка В.А., Павленка В.Н., Певзнера Я.М., Петрова В.А., Петрова М.А., Подригало М.А., Пчеліна І.К., Ревіна О.О., Розанова В.Г., Степанова В.Ю., Фалькевіча Б.С., Фаробіна Я.Є., Фрумкіна А.К., Хачатурова А.А., Чудакова Є.О. та ін.

Оцінка впливу АБС з модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами на динаміку автомобіля виконана на прикладі вантажного автомобіля КраЗ-6510, особливістю якого є ПГП, який включає крім базової комплектації додаткові елементи – АБС з модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії.

Загальна математична модель процесу гальмування виконана у вигляді окремих блоків і містить чотири групи рівнянь (розроблених Гецовичем Є.М., Постним В.О., Ахметшиним А.М., Кнорозом В.І.), що описують:

- рух непідресорених і підресорених мас з урахуванням впливу підвіски і жорсткості шин;
- взаємодію еластичних коліс з опорною поверхнею;
- гальмівний привід і гальмівні механізми;
- робочі процеси АБС.

Умови формування пульсуючого сигналу прямокутної форми при ШІМ, які використовувалися в процесі моделювання екстреного гальмування автомобіля, мають наступний вигляд:

$$C_{ij} = C_0 + K_h \cdot \int_0^t \left(\dot{\omega}_{ij} - \frac{K_n \cdot \gamma}{r_{dij}} \right) dt, \quad (1)$$

де i, j – номер осі та номер борта автомобіля;

C_0 – постійне значення шпаруватості, відповідне максимальному тиску в гальмівному приводі;

K_h – коефіцієнт чутливості;

$\dot{\omega}_{ij}$ – кутове прискорення колеса;

K_n – коефіцієнт пробних дій;

γ – повздовжнє уповільнення автомобіля;

r_{dij} – динамічний радіус колеса.

Якщо $\dot{\omega}_{ij} > 0$, тоді:

$$C_{ij} = const. \quad (2)$$

При $\dot{\omega}_{ij}=0$, $\gamma_{ij} \neq 0$ (ω_{ij} – кутова швидкість колеса) шпаруватість визначається з виразу:

$$C_{ij} = -K_c \cdot t + C'_{0ij}, \quad (3)$$

де K_c – постійний коефіцієнт, що завдає темп зниження тиску у випадку повного блокування коліс;

t – час гальмування;

C'_{0ij} – значення C_{ij} у момент перемикання на умову (3) з (1) або (2).

При роботі АБС на гальмівний шлях суттєво впливають значення коефіцієнтів K_n , K_h . Занижене значення коефіцієнту K_n призводить до розгальмовування коліс, надмірне – до істотного перегальмовування. При малих значеннях величини K_h реакція АБС на зміну динамічного стану буде сповільненою, при надмірно великому значенні цього коефіцієнта – підвищена. Істотно також на гальмівний шлях впливають площі прохідних перетинів модулятора тиску – f_{ijlm} : завищене значення призводить до підвищених витрат стислого повітря, занижене – до зменшення здатності адаптуватися до зміни дорожніх умов. Знаходження величин K_n , K_h , f_{ijlm} , при яких досягаються мінімальні витрати стислого повітря в поєднанні з найменшим гальмівним шляхом, можливе шляхом вирішення задачі багатомірної оптимізації.

Згідно сформульованої теми дисертації більше практичне значення в даній роботі мають наступні оцінні характеристики: гальмівна ефективність, траєкторна керованість, економічність по витраті запасів робочого тіла.

Економічність АБС по витраті запасів стислого повітря оцінюється по величині зниження тиску в ресиверах за одне повне гальмування з включеною АБС, в такому разі вираз для розрахунку часткового критерію – економічності по витраті запасів робочого тіла, доцільно представити у наступному вигляді:

$$K_1(K_n, K_h, f_{ijlm}) = \frac{1}{1 - \frac{P(K_n, K_h, f_{ijlm}) - \gamma_{11}}{P}}, \quad (4)$$

де $P(K_n, K_h, f_{ijlm})$ – значення тиску в ресиверах після повного гальмування автомобіля з включеною АБС;

γ_{11} – функція, яка занижує дійсне значення тиску в ресивері в момент початку гальмування для того, щоб знаменник не обертався до 0;

P – тиск в ресиверах перед початком гальмування автомобіля.

Функція γ_{11} записується в наступному вигляді:

$$\gamma_{11} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } P - P(K_n, K_h, f_{ijlm}) > 10^{-2}; \\ 10^{-2}, & \text{якщо } P - P(K_n, K_h, f_{ijlm}) \leq 10^{-2}. \end{cases} \quad (5)$$

Витрати стислого повітря найменші при максимальному значенні $K_1(K_n, K_h, f_{ijlm})$ (4).

Для оцінки гальмівної ефективності зручно використовувати в якості показника гальмівний шлях. Більшість дослідників оцінюють ефективність

гальмування шляхом порівняння величин гальмівних шляхів при заблокованих колесах і при включеній АБС. Виходячи з чинних вимог гранично допустима величина гальмівного шляху задається в наступному вигляді:

$$S_T^* = S_t, \quad (6)$$

де S_t – гальмівний шлях при гальмуванні із заблокованими колесами.

Оптимальні значення прохідних перетинів модулятора тиску f_{ijlm} , коефіцієнтів пробної дії K_n та чутливості K_h дозволяють здійснити максимальне наближення до значення відносного прослизання S^* , що відповідає максимальному коефіцієнту зчеплення φ_{xmax} . У такому випадку вираз для розрахунку часткового критерію ефективності гальмування має наступний вигляд:

$$K_2(K_n, K_h, f_{ijlm}) = 1 - \frac{S_T(K_n, K_h, f_{ijlm})}{S_T^*}, \quad (7)$$

де $S_T(K_n, K_h, f_{ijlm})$ – дійсна величина гальмівного шляху.

Ефективність гальмування найліпша при максимальному значенні $K_2(K_n, K_h, f_{ijlm})$ (7).

Траєкторну керованість можна оцінювати по величині відхилення автомобіля Δ від заданої траєкторії. При визначенні траєкторної керованості автомобіля в якості тестової траєкторії була прийнята крива, по якій автомобіль може рухатися без поперечних відхилень при заданій початковій швидкості, постійному куту установки керованих коліс і гальмуванні з АБС. Граничне значення Δ^* для оцінки відхилення автомобіля, при допущенні, що до початку гальмування автомобіль рухався строго по середині смуги руху, знаходиться з виразу:

$$\Delta^* = 0,5(B_{II} - B_a), \quad (8)$$

де B_{II} – ширина смуги руху, регламентована для даної категорії доріг;

B_a – габаритний розмір автомобіля, зміряний по перпендикуляру до його подовжньої осі, яка проходить через точку, що максимально відхилилася від початкової траєкторії.

Вираз для розрахунку часткового критерію – траєкторна керованість представлено в наступному вигляді:

$$K_3(K_n, K_h, f_{ijlm}) = 1 - \frac{\Delta(K_n, K_h, f_{ijlm})}{\Delta^*}, \quad (9)$$

де $\Delta(K_n, K_h, f_{ijlm})$ – величина відхилення автомобіля Δ від заданої траєкторії після повного гальмування автомобіля з включеною АБС.

Найменше відхилення від заданої траєкторії буде спостерігатися при максимальному значенні $K_3(K_n, K_h, f_{ijlm})$ (9).

При такій побудові часткових критеріїв можлива оптимізація по узагальненому критерію:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot K_i + \sum_{j=1}^m Z_j \cdot P_j, \quad (10)$$

де Z_i, Z_j – вагові коефіцієнти;

P_j – штрафна функція, яка знижує значення узагальненого критерію при виході варійованого параметра за межі допустимих значень.

Кожна з варійованих величин K_n, K_h, f_{ij1m} має діапазон, в межах якого може змінюватися. Вихід за межі допустимих значень призведе до отримання недостовірних результатів. Для вияву моменту виходу в процесі оптимізації за гранично допустимі межі значень K_n, K_h, f_{ij1m} вводяться штрафні функції P_j .

Діапазон, в межах якого можуть змінюватися площі прохідних перетинів f_{ij1m} модулятора тиску, обумовлений перш за все конструктивними особливостями модулятора. Тому слід зазначити, що змінні площі прохідних перетинів модулятора тиску повинні варіюватися в межах $1,963 \cdot 10^{-7} \dots 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ (відповідно, діаметр отвору $0,5 \dots 10 \text{ мм}$). В такому випадку штрафну функцію, що враховує зміну площ прохідних перетинів модулятора f_{ij1m} , можна записати в наступному вигляді:

$$P_{f_{ij1m}}(f_{ij1m}) = \begin{cases} 1 - \frac{f_{ij1m \min}}{f_{ij1m}}, & \text{якщо } f_{ij1m} < f_{ij1m \min}; \\ 0, & \text{якщо } f_{ij1m \min} \leq f_{ij1m} \leq f_{ij1m \max}; \\ 1 - \frac{f_{ij1m}}{f_{ij1m \max}}, & \text{якщо } f_{ij1m} > f_{ij1m \max}. \end{cases} \quad (11)$$

Для значення коефіцієнта пробної дії K_n встановлена лише нижня межа: $K_n > (1-S^*)$, а для коефіцієнта чутливості K_h взагалі не встановлено обмежень, тобто $-\infty < K_h < \infty$. В такому випадку P_{K_n} має наступний вигляд:

$$P_{K_n}(K_n) = \begin{cases} 1 - \frac{K_{n \min}}{K_n}, & \text{якщо } K_n \leq K_{n \min}; \\ 0, & \text{якщо } K_n > K_{n \min}. \end{cases} \quad (12)$$

При гальмуванні автомобіля на прямій ділянці дороги узагальнений критерій має вигляд:

$$K_{\Sigma}(K_n, K_h, f_{ij1m}) = Z_1 \cdot \frac{1}{1 - \frac{P(K_n, K_h, f_{ij1m}) - \Upsilon_{11}}{P}} + Z_2 \cdot \left(1 - \frac{S_T(K_n, K_h, f_{ij1m})}{S_T^*} \right) + \\ + Z_{f_{ij1m}} \cdot P_{f_{ij1m}}(f_{ij1m}) + Z_{K_n} \cdot P_{K_n}(K_n). \quad (13)$$

При гальмуванні автомобіля на кривій ділянці дороги узагальнений

критерій має вигляд:

$$K_{\Sigma}(K_n, K_h, f_{ijlm}) = Z_1 \cdot \frac{1}{1 - \frac{P(K_n, K_h, f_{ijlm}) - \Upsilon_{11}}{P}} + Z_2 \cdot \left(1 - \frac{S_T(K_n, K_h, f_{ijlm})}{S_T^*} \right) + Z_3 \cdot \left(1 - \frac{\Delta(K_n, K_h, f_{ijlm})}{\Delta^*} \right) + Z_{f_{ijlm}} \cdot P_{f_{ijlm}}(f_{ijlm}) + Z_{K_n} \cdot P_{K_n}(K_n). \quad (14)$$

Процес оптимізації обмежується розглядом тільки двох граничних режимів: гальмування ненавантаженого автомобіля на дорозі з найменшим коефіцієнтом зчеплення і гальмування автомобіля з повною масою на дорозі з коефіцієнтом зчеплення, при якому ще можливе блокування коліс.

В роботі при пошуку оптимальних значень прохідних перетинів f_{ijlm} і коефіцієнтів K_n та K_h (табл. 1) використовувався метод Хука – Дживса, тому що даний метод є досить ефективним і завжди, як правило, приводить до знаходження максимуму або мінімуму функції. Пошук складається з послідовних кроків дослідницького пошуку навколо базисної точки, за якою, в разі успіху, слідує пошук по зразку.

Суттєво на значення узагальненого критерію та величин K_n , K_h , f_{ijlm} впливає величина вагових коефіцієнтів. Це обумовлено перш за все тим, що часткові критерії K_i та штрафні функції P_j змінюються в різних діапазонах. Найліпші результати стосовно гальмівного шляху та відхилення від заданої траєкторії спостерігаються при наступних значеннях вагових коефіцієнтів: $Z_1=10^{-2}$, $Z_2=1$, $Z_3=1$, $Z_{f_{ijlm}}=1$, $Z_{K_n}=1$.

В зв'язку з тим, що мінімальний гальмівний шлях на різних дорожніх умовах досягається при неоднакових значеннях коефіцієнтів K_n , K_h (табл. 1), необхідно виявити те одне єдине значення кожного з коефіцієнтів, яке підходило б для всіх дорожніх умов. Рішення задачі можливе двома варіантами: перший – це виявлення закономірності зміни коефіцієнтів K_n , K_h від дорожніх умов, тобто значення K_n , K_h – змінні, інший – вирахування середньоарифметичного значення з отриманих оптимальних.

Результати оптимізації

Параметр	Рух прямолінійний		Рух криволінійний		Середнє значення
	Дорожні умови – сніг, вага автомобіля мінімальна	Дорожні умови – асфальт сухий, вага автомобіля максимальна	Дорожні умови – сніг, вага автомобіля мінімальна	Дорожні умови – асфальт сухий, вага автомобіля максимальна	
f_{ijlm}	1,18	1,18	1,16	1,16	1,17
K_n	1,48	1,42	1,44	1,40	1,435
K_h	32,5	7,15	32,45	7,05	19,7875
Зниження тиску в ресиверах за повне гальмування ΔP , МПа	0,04606	0,04194	0,04608	0,04198	–
Гальмівний шлях S_T , м	40,92	10,54	44,54	10,84	–
Найбільше відхилення від наміченої траєкторії Δ , м	–	–	0,3	0,13	–
Час гальмування, с	7,64	1,852	8,4	1,88	–
K_Σ	0,319	0,282	1,069	1,18	–

Так як в роботі стоїть задача в зниженні витрат стислого повітря на модуляцію тиску (значення f_{ijlm} для всіх дорожніх умов майже однакові – похибка відносно середнього значення складає 0,854%), а не удосконалення умов формування пульсуючого сигналу при ШІМ, то саме другий варіант був обраний для визначення коефіцієнтів K_n , K_h та площі f_{ijlm} .

Результати розрахунків гальмівного шляху, витрат стислого повітря, значення відхилення від наміченої траєкторії, часу гальмування при різних дорожніх умовах при отриманих значеннях коефіцієнтів K_n , K_h та площі f_{ijlm} наведені в табл. 2.

Одним із шляхів перевірки доцільності застосування отриманих значень K_n , K_h , f_{ijlm} є випробування на можливість адаптації до зміни дорожніх умов, тобто за який час відбувається налаштування на φ_{xmax} при переїзді з сухого асфальту на сніг, та навпаки. Згідно розрахунків час адаптації складає 0,3 – 0,36 с.

Значення узагальнених критеріїв при русі на різних дорожніх поверхнях при отриманих середньоарифметичних значеннях величин K_n , K_h , f_{ijlm} (табл. 2) відрізняються від результатів, що наведені в табл. 1 на 0,084 – 3,13%.

При екстремому гальмуванні на сухому асфальті при розрахованих коефіцієнтах $K_n=1,435$, $K_h=19,7875$, діаметрах змінних прохідних перетинів, рівних 1,17 мм, прослизання підтримується близько S^* , що відповідає максимальному коефіцієнту зчеплення. При гальмуванні на дорозі, що вкрита снігом, прослизання змінюється в діапазоні 0,05...1, при цьому іноді відбувається блокування колеса, що зумовлено використанням постійних значень коефіцієнту пробної дії та чутливості.

Таблиця 2

Результати розрахунків ($K_n=1,435$, $K_h=19,7875$, діаметр ЗПП 1,17 мм)

Параметр	Рух прямолінійний		Рух криволінійний	
	Дорожні умови – сніг, вага автомобіля мінімальна	Дорожні умови – асфальт сухий, вага автомобіля максимальна	Дорожні умови – сніг, вага автомобіля мінімальна	Дорожні умови – асфальт сухий, вага автомобіля максимальна
Зниження тиску в ресиверах за повне гальмування ΔP , МПа	0,04607	0,04195	0,046065	0,04194
Гальмівний шлях S_T , м	41,40	10,61	44,33	10,78
Найбільше відхилення від наміченої траєкторії Δ , м	–	–	0,33	0,14
Час гальмування, с	7,68	1,852	8,39	1,87
K_Σ	0,309	0,276	1,056	1,179

Найбільші витрати стислого повітря при гальмуванні АТЗ з АБС спостерігаються при переїзді з однієї дорожньої поверхні на іншу (амплітуда пульсації тиску в виконавчому апараті найбільша, найменші – при постійному коефіцієнті зчеплення.

Результати теоретичного дослідження довели, що витрати стислого повітря при гальмуванні АТЗ із АБС з ШІМ (модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії) відповідають чинним правилам ЄЕК ООН №13.

Оптимальні значення площ прохідних перетинів модулятора тиску, коефіцієнта пробної дії K_n та коефіцієнта чутливості K_h дозволяють скоротити витрату запасів стислого повітря при екстремому гальмуванні автомобіля.

Гальмування з максимальною ефективністю на різних дорожніх поверхнях можливе тільки при змінних значеннях коефіцієнтів K_n , K_h . Мінімальний гальмівний шлях при гальмуванні на сніжному покриві (в разі використання виразів (1)...(3)) досягається при значеннях $K_h=32,5$, $K_n=1,48$ і складає 40,92 м, на сухому асфальті – при значеннях $K_h=7,15$, $K_n=1,42$ та складає 10,54 м.

Перевірка на імітаційній моделі впливу модулятора тиску запропонованої конструкції на показники гальмівної динаміки автомобіля показала, що модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами при ШІМ в разі екстремого гальмування не знижує гальмівної ефективності, керованості та стійкості автомобіля.

ВИСНОВКИ

1. Існуючі АБС, якими обладнуються АТЗ із ППП, мають досить суттєвий недолік: недостатню якість регулювання.

Оптимальною з точки зору якості регулювання та адаптивних властивостей є дуальні адаптивні АБС з ШІМ, єдиним недоліком якої є підвищені витрати запасів стислого повітря на модуляцію тиску у виконавчих апаратах.

2. Застосування модулятора тиску на базі клапана прискореної дії зі змінними прохідними перетинами при ШІМ є найкращим як з погляду витрати запасів стислого повітря, так і часу спрацювання гальмівного приводу (при розміщенні модулятора тиску за першою схемою: пневматичний гальмівний кран – модулятор тиску – клапан прискореної дії – гальмівна камера).

3. Експериментальне дослідження підтвердило неможливість зниження витрат стислого повітря за рахунок підвищення частоти спрацювання модулятора (9 Гц і більше) для розробленої конструкції модулятора тиску (модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії). Суттєве зниження витрат робочого тіла досягається за рахунок зменшення площ прохідних перетинів.

Робочий діапазон частот модулятора тиску, при яких можлива реалізація фази спорожнення та наповнення через змінні прохідні перетини у діапазоні зміни шпаруватості $0,1 \leq C \leq 0,9$, складає 5 – 7 Гц.

4. Порівняння результатів, отриманих теоретично та експериментально, показало, що при модуляції тиску з діаметрами прохідних перетинів модулятора тиску 0,5 – 1,25 мм та частоті пульсації 5 – 7 Гц похибка не перевищує 9,1%.

5. При значеннях $K_n=1,435$, $K_h = 19,7875$ та діаметрах змінних прохідних перетинів, рівних 1,17 мм, досягається максимальна з можливих для запропонованих умов формування пульсуючого сигналу ефективність гальмування, мінімальні витрати стислого повітря, мінімальне відхилення від заданої траєкторії при криволінійному русі. Однак при цьому зменшується здатність адаптуватися до зміни дорожніх умов (час до встановлення середнього тиску, що відповідає новим умовам зчеплення, досягає – 0,36 с.), що обумовлено низькою частотою спрацювання модулятора та малими прохідними перетинами модулятора тиску.

6. Підвищення гальмівної ефективності, керованості та стійкості автомобіля можливе за рахунок удосконалення умов формування пульсуючого сигналу при гальмуванні АТЗ з ППП (обладнаного АБС із ШІМ): значення коефіцієнтів пробної дії та чутливості повинні бути змінними та залежати від дорожніх умов та навантаження на колеса.

7. Перевірка на імітаційній моделі впливу модулятора тиску запропонованої конструкції на показники гальмівної динаміки автомобіля показала, що модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами при ШІМ в разі екстреного гальмування не знижує гальмівної ефективності, керованості та стійкості автомобіля.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бондаренко А.І. Вибір способу модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі / А.І. Бондаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – 2008. – Т. 1, № 75.– С. 360 –365.
2. Бондаренко А.І. Результати математичного моделювання процесу гальмування автомобіля з АБС (модулятор тиску із змінними прохідними перетинами) та оптимізація основних параметрів модулятора тиску / А.І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 6/5 (36).– С. 11 –17.
3. Бондаренко А.И. Математическая модель пневматического тормозного привода, результаты моделирования / А.И. Бондаренко // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2008. – № 46. – С. 46 – 57.
4. Бондаренко А.І. Вибір методу для опису перехідних процесів в пневматичному гальмівному приводі / А.І. Бондаренко // Вестник НТУ “ХПИ”: сб. науч. трудов. Тематический выпуск “Автомобиле- и тракторостроение”. – 2008. – № 58.– С. 118 –121.
5. Бондаренко А.І. Результати експериментального дослідження роботи модулятора тиску із змінними прохідними перетинами при широтно-імпульсній модуляції / А.І. Бондаренко // Механіка та машинобудування. – 2008. – № 1.– С. 31 –38.
6. Бондаренко А.И. Выбор и обоснование аппроксимирующей функции $\varphi - S$ диаграммы / А.И. Бондаренко // Ученые записи крымского инженерно-педагогического университета. – 2008. – № 16.– С. 95 –98.
7. Гецович Е.М. Совершенствование конструкции модулятора давления для пневматического тормозного привода / Е.М. Гецович, А.И. Бондаренко // Вестник НТУ “ХПИ”: сб. научн. трудов. Тематический выпуск “Автомобиле- и тракторостроение”. – 2007. – № 12.– С. 107 –114 (здобувачем виконано порівняльний аналіз конструкцій модуляторів тиску для ПГП).
8. Гецович Е.М. Влияние схемы установки и проходных сечений модулятора давления на расход запасов сжатого воздуха в пневматическом тормозном приводе / Е.М. Гецович, А.И. Бондаренко // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2006. – № 26. – С. 81 – 86 (здобувачем складено та вирішено системи диференціальних рівнянь для різних схем розташування модулятора тиску в ПГП, зроблено висновки що до впливу схеми розташування та прохідних перетинів модулятора тиску на витрату запасів стислого повітря в ПГП).

9. Гецович Е.М. Повышение экономичности пневматических модуляторов давления / Е.М. Гецович, А.И. Бондаренко // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2007. – № 33. – С. 37 – 40 (здобувачем отримано та проаналізовано результати математичного моделювання роботи ділянки ПГП з АБС (модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами).
10. Гецович Є.М. Результати теоретичного та експериментального дослідження модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами / Є.М. Гецович, А.І. Бондаренко, В.В. Шелудченко // Вестник Харьковського національного автомобільно – дорожнього університета и Северо-Восточного научного центра Транспортной академии України: сб. научн. трудов. – 2009. – № 44.– С. 35 – 38 (здобувачем виконано порівняльний аналіз результатів теоретичного та експериментального дослідження модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами).
11. Гецович Є.М. Вплив змінних коефіцієнтів чутливості та пробної дії на ефективність гальмування, керованість та стійкість / Є.М. Гецович, А.І. Бондаренко, В.В. Шелудченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/5 (37). – С. 4 – 6 (здобувачем виконано моделювання процесу гальмування вантажного автомобіля з ПГП і АБС, яка обладнана модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами, і перевірено вплив змінних коефіцієнтів чутливості та пробної дії на ефективність гальмування, керованість і стійкість).
12. Пат. на кор. модель 35140 Україна, МПК В 60 Т 8/00. Модулятор тиску для пневматичного гальмівного приводу / Є.М. Гецович, А.І. Бондаренко; заявник та патентообладач Є.М. Гецович, А.І. Бондаренко (Україна). – № а 2007 14047; заявл. 14.12.07; опубл. 10.09.08, Бюл. № 17 (здобувачем розроблено конструктивну схему модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами).
13. Гецович Е.М., Шелудченко В.В., Бондаренко А.И. Анализ результатов математического моделирования работы участка пневматического тормозного привода с АБС // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ, 8 – 25 квітня 2008 р., Суми Т.3 / М-во аграр. політики, Сумський нац. аграр. ун-т. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т., 2008. – С. 128 – 129 (здобувачем отримано та проаналізовано результати математичного моделювання роботи ділянки ПГП з АБС (модулятор тиску зі змінними прохідними перетинами).

АНОТАЦІЯ

Бондаренко А.І. Удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі автомобілів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2010 р.

Дисертація присвячена вирішенню актуального питання – зменшення витрати робочого тіла за рахунок удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі автомобілів.

В роботі проведено аналіз існуючих способів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі та конструкцій модуляторів тиску, які реалізують ці способи, з метою вияву напряму удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному гальмівному приводі автотранспортних засобів.

Виконано теоретичне дослідження впливу схеми розташування та конструкції модулятора тиску на час спрацювання пневматичного гальмівного приводу та витрату запасів стислого повітря при широтно-імпульсній модуляції.

Проведено теоретичне та експериментальне дослідження впливу прохідних перетинів та частоти спрацювання модулятора на витрату запасів стислого повітря і працездатність модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії при широтно-імпульсній модуляції.

Вирішено завдання оптимізації прохідних перетинів модулятора тиску зі змінними прохідними перетинами і коефіцієнтів пробної дії та чутливості по узагальненому критерію, який враховує мінімізацію витрат робочого тіла, гальмівного шляху (при прямолінійному русі) та відхилення від заданої траєкторії (при криволінійному русі).

Оцінено вплив основних параметрів АБС з модулятором тиску зі змінними прохідними перетинами на базі клапана прискореної дії при широтно-імпульсній модуляції на процес гальмування автомобіля та розроблено рекомендації що до їх вибору.

Ключові слова: пневматичний гальмівний привід, АБС, модулятор, гальмівна система, ефективність гальмування.

АННОТАЦІЯ

Бондаренко А.И. Совершенствование процессов модуляции давления в пневматическом тормозном приводе автомобилей. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена решению актуального вопроса – уменьшению расхода рабочего тела за счет совершенствования процессов модуляции давления в пневматическом тормозном приводе автомобилей.

В работе проведен анализ существующих способов модуляции давления в пневматическом тормозном приводе и конструкций модуляторов давления, которые реализуют эти способы.

Оптимальной с точки зрения качества регулирования и адаптивных свойств являются дуальные адаптивные АБС с широтно-импульсной модуляцией, единственным недостатком которых является повышенный расход запасов сжатого воздуха на модуляцию давления в исполнительных аппаратах.

Путем теоретических исследований доказано, что применение модулятора давления с переменными проходными сечениями на базе ускорительного клапана при широтно-импульсной модуляции является наилучшим как с точки зрения расхода запасов сжатого воздуха так и времени срабатывания тормозного привода (при установке модулятора перед ускорительным клапаном).

Выявлено, что для описания переходных процессов в пневматическом тормозном приводе, как при рабочем торможении, так и работе привода в циклическом режиме целесообразнее применять метод Герц Е.В.

С целью проверки работоспособности модулятора давления с переменными проходными сечениями проведены экспериментальные исследования, результаты которых продемонстрировали невозможность снижения расходов сжатого воздуха за счет повышения частоты срабатывания модулятора давления (9 Гц и больше), при этом существенное снижение расхода рабочего тела достигается за счет снижения площадей проходных сечений. Рабочий диапазон частот модулятора давления, при которых возможна реализация фаз опорожнения и наполнения через переменные проходные сечения в диапазоне изменения скважности $0,1 \leq C \leq 0,9$, составляет 5 – 7 Гц.

В результате моделирования процесса торможения автомобиля, с использованием существующих математических моделей движения подрессоренных и неподрессоренных масс, взаимодействия эластичных колес с опорной поверхностью, тормозного привода и тормозных механизмов, рабочих процессов АБС и решения задачи многомерной оптимизации определены оптимальные параметры модулятора давления.

Определенные оптимальные параметры модулятора давления с переменными проходными сечениями позволяют достигнуть максимальную из возможных, для предложенных условий формирования пульсирующего сигнала, эффективность торможения, минимальный расход сжатого воздуха, минимальное отклонение от заданной траектории при криволинейном движении транспортного средства.

Результаты, полученные в процессе оптимизации основных параметров модулятора давления, позволили сформулировать рекомендации касательно усовершенствования алгоритма функционирования АБС для автомобилей с пневматическим тормозным приводом. Повышение тормозной эффективности, управляемости и устойчивости автомобиля при широтно-импульсной модуляции возможно за счет использования переменных значений коэффициентов пробного воздействия и чувствительности, которые изменяются в зависимости от дорожных условий и нагрузки на колеса.

Проверка на имитационной модели влияния модулятора предложенной конструкции на показатели тормозной динамики автомобиля показала, что модулятор давления с переменными проходными сечениями при широтно-импульсной модуляции в случае экстренного торможения не снижает тормозную эффективность, управляемость и устойчивость автомобиля.

Ключевые слова: пневматический тормозной привод, ABS, модулятор, тормозная система, эффективность торможения.

ABSTRACT

Bondarenko A.I. Improvement of processes of modulation pressure in a pneumatic brake drive of cars. – Manuscript.

The dissertation for obtaining a scientific degree of Candidate of Science (Technology) on the specialty 05.22.02 – automobiles and tractors. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted the solution of actual problem diminishing of expenses of working body due to the improvement of modulation pressure processes in the pneumatic brake drive of cars.

The analysis of existing methods of modulation pressure in a pneumatic brake drive and constructions of modulator pressure, which may implement these methods, have been presented in the work, with the purpose to demonstrate improvement direction of processes modulation pressure in the pneumatic brake drive of vehicles.

Theoretical research of layout and construction influence of modulator pressure on a time of work of pneumatic brake drive and waste of supplies of the compressed air at latitudinal pulse modulation has been executed.

Theoretical and experimental research of influence of the section and modulator frequency work on the waste of supplies of the compressed air and capacity of modulator pressure with variable section at latitudinal pulse modulation has been conducted.

Optimizations of the modulator pressure section and coefficients of trial action and sensitiveness according the generalized criterion which takes into account minimization of losses of working body, of braking distance (at linear motion) and deviation from the set trajectory (at curvilinear motion) have been solved.

Influence of basic parameters of ABS with the modulator pressure with variable section on the basis accelerate of valve action at latitudinal pulse modulation on the process of braking of car have been estimated and recommendations for their selection have been developed.

Key words: pneumatic brake drive, ABS, modulator, brake system, efficiency of braking.

Бондаренко Анатолій Ігорович

Удосконалення процесів модуляції тиску в пневматичному
гальмівному приводі автомобілів

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку “10” лютого 2010 р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Умов. друк. арк. 0,9.
Замовлення № 334. Тираж 100 прим.

Віддруковано ФОП Старолат В.М., м. Харків, вул. Сумська, 4
