

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

СЕЛЕВИЧ СЕРГІЙ ГЕННАДІЙОВИЧ

УДК 681.51.011

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКСТРЕМИМ ГАЛЬМУВАННЯМ
АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Спеціальність 05.13.03 – системи і процеси керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі автомобіле- і тракторобудування Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шатохін Володимир Михайлович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри теоретичної механіки

кандидат технічних наук, доцент
Серіков Сергій Анатолійович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет,
докторант кафедри автомобільної електроніки

Захист відбудеться “07” жовтня 2010 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “___” _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ліберг І.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значна частка ДТП (до 70%) відбувається при застосуванні водіями режиму екстреного гальмування та до 60% супроводжується втратою стійкості і керованості. Загально визнано, що одним з найбільш перспективних шляхів вирішення проблеми підвищення активної безпеки автомобілів при гальмуванні є застосування антиблокувальних систем (АБС). Законодавчі органи різних країн, визнавши цей факт, самі тепер спонукують виробників автомобілів впроваджувати АБС.

Основними перешкодами впровадження АБС на легкових автомобілях є низька ефективність в умовах стрибкоподібної зміни типу(стану) опорної поверхні, яка відбувається за час менший 10^{-2} с та іноді призводить до істотної (при переході сухий асфальтобетон-лід на 80%) зміни положення екстремуму вихідної характеристики. Управління під час такого типу дрейфу, з урахуванням низької швидкодії гідравлічного виконавчого елемента, пов'язано із високою імовірністю тимчасової втрати стійкості та керованості автомобіля. При цьому високоефективні САУ екстреним гальмуванням виробництва відомих світових брендів, зокрема Bosch та Lucas Girling, призводять до істотного (на 5%) подорожчання вітчизняних легкових автомобілях малого класу, що обумовлює труднощі їх впровадження.

Використання прогресивних методик і комплексного підходу до розв'язання завдань управління дозволяє синтезувати самонастроювальні системи автоматичного управління (САУ), які забезпечують функціонування об'єкта керування в екстремальних режимах та сприяють збереженню стійкості і керованості автомобіля під час екстреного гальмування. Необхідність вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ "ХПІ". Здобувач як виконавець брав участь у держбюджетній темі МОН України "Розробка наукових основ синтезу трансмісій і адаптивних гальмівних систем транспортних машин в агропромисловому комплексі України" (ДР №0104U003359).

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – удосконалення системи управління екстреним гальмуванням автомобіля в умовах невизначеності шляхом адаптації процесу управління до змінних режимів функціонування.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- дослідити характер та скласти математичні моделі збурень, що впливають на форму екстремальної характеристики зчеплення колеса з опорною поверхнею;
- провести аналіз адаптивних властивостей дуальних адаптивних САУ екстреним гальмуванням автомобіля в умовах діючих збурень;
- обґрунтувати шляхи підвищення адаптивних властивостей дуальних САУ екстреним гальмуванням автомобіля;
- дослідити можливість застосування осциляційної модуляції тиску у виконавчому елементі адаптивної САУ гальмуванням автомобіля;
- розробити програмно-технічну модель та визначити характеристики осциляційного модулятора тиску;
- виконати чисельний експеримент по оцінці впливу запропонованих удосконалень САУ на якість регулювання та динаміку гальмування автомобіля.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного управління гальмуванням автомобіля в умовах невизначеності.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів САУ на якість процесу управління гальмуванням автомобіля.

Методи дослідження. Всі теоретичні аспекти дисертації базуються на узагальнених засадах теорії дуальних адаптивних та екстремальних систем керування, яка була використана при проведенні аналізу та обґрунтуванні шляхів підвищення адаптивних властивостей САУ. При побудові математичних моделей опису збурень використано теорію

ймовірностей та методи статистичного аналізу. При оптимізації параметрів процесу управління використаний симплекс-метод Нелдера-Міда. Методи математичного, імітаційного та фізичного моделювання використано при дослідженні можливості застосування осциляційної модуляції тиску у виконавчому елементі САУ та визначенні його характеристик. При оцінці впливу запропонованих удосконалень САУ для вирішення систем рівнянь руху автомобіля використані методи обчислювальної математики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що вперше встановлено наступне:

- виявлений взаємозв'язок між коефіцієнтами чутливості і пробних впливів та показниками якості процесу управління екстремим гальмуванням автомобіля в умовах суттєвої зміни форми вихідної характеристики і положення оптимуму, що дозволило визначити шляхи підвищення адаптивних властивостей САУ такими об'єктами;

- визначений взаємозв'язок між раціональними значеннями коефіцієнта пробних впливів та вимірювальними параметрами об'єкту управління, що дозволило виконати оптимізацію змінного коефіцієнта пробних впливів за критерієм відхилення об'єкта управління від екстремального режиму функціонування (патент України № 87699);

- одержали подальший розвиток методи проектування дуальних адаптивних САУ, що дозволяють за рахунок вибору коефіцієнта пробних впливів від вимірювальних в процесі управління параметрів здійснити пошук екстремуму, що динамічно змінюється в часі в широкому діапазоні;

- теоретично та експериментально досліджена і доведена можливість застосування осциляційної модуляції тиску у виконавчому елементі САУ екстремим гальмуванням автомобіля, що дозволяє досягти істотного спрощення та сприяє впровадженню САУ (патент України № 87689).

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці методики яка відрізняється від існуючих способом завдання коефіцієнта чутливості та змінного коефіцієнта пробних впливів, що дозволяє вивести об'єкт управління (ОУ) на екстремальний режим функціонування, і може бути використана як при проектуванні САУ гальмуванням автомобіля, так і при виборі управління для інших ОУ в умовах невизначеності.

Застосування моделі осциляційної модуляції тиску, запропонованої в даній роботі, у виконавчому елементі САУ дозволяє суттєво (в 2-3 рази) знизити вартість усієї системи. Ця обставина є запорукою впровадження системи АБС на автомобілях малого класу.

Результати проведеного дослідження використані ДНВП "Об'єднання Комунар" м. Харків при розробці електронного блоку управління та гідравлічного виконавчого елемента системи АБС для автомобіля Daewoo Lanos і підтверджені в процесі спільних стендових досліджень.

Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ "ХП" у лекційних курсах "Автоматичне регулювання самохідних машин", "Мікропроцесорні системи автомобілів і тракторів" та при дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Так особисто здобувачем сформульоване прикладне наукове завдання, що має важливе значення для синтезу САУ гальмуванням автомобіля; поставлена мета і завдання наукових досліджень, визначені та реалізовані шляхи її розв'язку:

- розроблена математична модель руху автомобіля в гальмовому режимі, що враховує особливості автомобільного колеса як об'єкта управління;

- виконана оцінка впливу параметрів САУ на показники якості регулювання, запропонований спосіб їх адаптації до змінних у широкому діапазоні навантажувально-зчпних умов і проведена їх оптимізація;

– розроблена програмно-технічна модель виконавчого елемента САУ та по складеній програмі і методиці виконані його стендові випробування;

– на базі складеної комплексної математичної моделі процесу гальмування легкового автомобіля виконана оцінка ефективності управління за критерієм стійкості та керованості ОУ.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися та одержали позитивну оцінку на: міжнародній науково-практичній конференції "Технічні та економічні перспективи розвитку автотранспортного комплексу і дорожнього будівництва" (м. Харків, 2005 р.); V, VI, VII, VIII науково-практичних конференціях "Перспективи розвитку автомобіле- і тракторобудування" (м. Харків, 2005-2009 р.); XIV, XV міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (м. Харків, 2005-2006 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 9 наукових публікаціях, з них: 7 статей у наукових фахових виданнях ВАК України, 2 патенти України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 7 додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 182 сторінки; з них 39 рисунків по тексту; 3 рисунки на 3 окремих сторінках; 13 таблиць по тексту; 7 додатків на 48 сторінках; списку використаних джерел з 131 найменування на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичне значення роботи.

У першому розділі розглянуті основні тенденції розвитку САУ процесом екстреного гальмування автомобіля, спрямовані на використання інтелектуальних систем: техніка варіювання коефіцієнта підсилення (Gain-scheduling control, Johansen T. A., Petersen I., Kalkkuhl J., L'udemann J.), системи на базі нечіткої логіки (Богатиренко К.І, Feng J.Z., Mauer G.F., Will A.B., Yu F., Zak S.H.), Model-based control (Solyom S.).

Дана робота виконана в розвиток робіт Гецовича Є.М., Гостева В.І., Кунцевича В.М., Федосова О.С. та інших, присвячених синтезу дуальних адаптивних САУ нестационарними об'єктами, які функціонують в умовах апріорної невизначеності форми вихідної характеристики та положення оптимуму. Основною передумовою синтезу таких САУ є формалізація завдань управління та адаптації на базі аналізу характеристик ОУ. В роботі виконаний такий аналіз процесу екстреного гальмування, у результаті чого виділені його особливості:

- коефіцієнти зчеплення шин з дорогою в поздовжній (φ_x) і поперечній (φ_y) площинах є функціями багатьох, у тому числі невідомих на етапі синтезу САУ та змінних в ході гальмування у широкому діапазоні параметрів, що обумовлює апріорну невизначеність характеристик об'єкта управління (ОУ);

- залежність коефіцієнта зчеплення від відносного поздовжнього ковзання $\varphi_x(S)$ має екстремальний характер, а гальмування автомобіля поблизу екстремуму відповідає близької до оптимальної гальмової ефективності та дозволяє зберегти запас бічної стійкості ($\varphi_y > 0$) у всьому реальному діапазоні швидкостей руху;

- характеристика зчеплення шин з опорною поверхнею має нестійку ланку регулювання, рух вздовж якої призводить до втрати бічної стійкості автомобіля ($\varphi_y \rightarrow 0$),

та наведена формалізація завдань управління, що полягає в усуненні неузгодженості між дійсним значенням змінної стану - кутове прискорення колеса та її корисній складовій,

обумовленій вповільненням темпу обертання колеса внаслідок зниження швидкості автомобіля. Суттєве підвищення завадостійкості у дуальних адаптивних САУ досягається за рахунок використання одночасно двох контрольованих параметрів (інтегрального та диференціального). Аналіз адаптивних властивостей для різних навантажувально-зчіпних умов і режимів руху, а також адаптація параметрів таких САУ, є основними завданнями другого розділу.

На підставі аналізу тенденцій розвитку і обсягу впровадження розглянуті основні способи модуляції тиску у ВЕ САУ. Часові та частотні характеристики існуючих ВЕ САУ, що реалізують такі способи, не завжди дозволяють реалізувати оптимальні режими управління. При цьому невисока надійність існуючих гідравлічних ВЕ та їх вартісні характеристики, які є наслідком складності технічних засобів реалізації способів модуляції тиску, обумовлюють труднощі впровадження САУ екстремим гальмуванням на легкові автомобілі малого класу. Серед розглянутих способів модуляції тиску у ВЕ САУ виділений спосіб осциляційної модуляції тиску, як єдиний, що дозволяє забезпечити відповідність необхідним швидкісним і функціональним вимогам та в той же час суттєво зменшує вартість системи в цілому. Відсутність математичної моделі осциляційної модуляції, фізичній реалізації, та, як наслідок, експериментальних даних, необхідних для підтвердження її придатності до використання у ВЕ та впровадження САУ визначили основні завдання третього розділу.

З урахуванням аналізу методів синтезу САУ екстремим гальмуванням автомобіля та способів модуляції тиску у виконавчому елементі САУ, що забезпечують їх впровадження, сформульована мета і завдання дослідження.

У другому розділі виконаний аналіз адаптивних властивостей дуальних адаптивних САУ екстремим гальмуванням в умовах невизначеності типу(стану) опорної поверхні та визначені шляхи їх підвищення.

В процесі екстремого гальмування ОУ знаходиться під впливом двох типів збурень: пульсації кутового прискорення колеса $\Delta\dot{\omega}$, задані за допомогою кусочно-лінійної функції з випадковими параметрами (рис. 1), та змінення положення оптимуму $\varphi_{x,MAX}$ внаслідок стрибкоподібної зміни типу(стану) опорної поверхні.

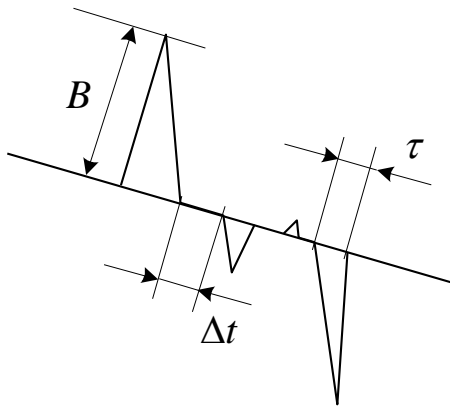


Рис. 1. Параметри кусочно-лінійної функції: B - амплітуда; τ - тривалість; Δt - інтервал між сусідніми сплесками.

Гіпотеза H_0 на відповідність генеральної сукупності результатів експериментального дослідження процесу гальмування автомобільного колеса, наведених у роботах Пчеліна І.К. та Іларіонова В.А., нормальному розподілу для параметрів кусочно-лінійної функції перешкоди (B , τ , Δt) була відкинута на рівні значущості $\alpha = 0,1$, тому їх значення на кожному кроці моделювання задавалися за допомогою гістограм відносних частот. Моделювання залежності $\varphi_x(S, V)$ виконано за допомогою формули Расејка та коефіцієнту корекції для сухого асфальтобетону і льоду, та моделі

Буркхардта для мокрого асфальтобетону.

Основними параметрами дуальної адаптивної САУ, яка реалізує закон управління у відповідності до умов:

$$\dot{P} = K_q \left(\dot{\omega} - \frac{K_{PP} \dot{V}}{r_o} \right), \quad (1)$$

$$\dot{P} = 0, \text{ при } \dot{\omega} > 0, \quad (2)$$

$$\dot{P} = -C, \text{ при } \omega = 0, \dot{V} \neq 0, \quad (3)$$

є коефіцієнти чутливості K_q та пробних впливів K_{PP} . У даній роботі симплекс методом Нелдера-Міда (Matlab, Ліц. №16-48523-39-096-20676-41897) виконана оптимізація коефіцієнтів K_q та K_{PP} в умовах пульсацій $\Delta\dot{\omega}$ для трьох основних типів опорної поверхні. За мету оптимізації прийнята мінімізація критерію $K_{КАЧ} \rightarrow \min$, що являється оцінкою наближення фазової кривої M_T/Zr_o до її оптимального значення. Оскільки в САУ екстремим гальмуванням, як правило, управління здійснюється по кожному каналу роздільно, дослідження було виконано на математичній моделі руху поодинокого колеса.

Так, в умовах незмінного стану опорної поверхні виявлене істотне збільшення гальмового шляху при гальмуванні на сухому асфальтобетоні для значень K_q та K_{PP} , які оптимізовані для льоду, і зниження якості регулювання при гальмуванні на льоді з коефіцієнтами K_q та K_{PP} , що оптимізовані для інших типів опорної поверхні. У результаті аналізу дуальної адаптивної САУ з постійними коефіцієнтами K_q та K_{PP} при стрибкоподібній зміні типу опорної поверхні показано, що забезпечити навіть близькі до оптимальних значення показників якості в умовах невизначеності стану опорної поверхні, не є можливим.

На підставі дослідження характеру діючих на ОУ збурень були виділені цілі адаптації у вигляді:

- удосконалити спосіб завдання параметрів процесу управління, що забезпечить його налаштування на оптимум в умовах стрибкоподібної зміни типу опорної поверхні;

- визначити раціональні параметри процесу управління, що дозволять знизити негативний вплив пульсацій кутового прискорення колеса на показники якості управління.

Оскільки в дуальних адаптивних САУ екстремим гальмуванням, в процесі зведення до мінімуму неузгодженості між реальним значенням $\dot{\omega}$ і його корисної складової $(1-S)\dot{V}/r_o$, забезпечується гальмування по кривій квазістійких станів, а при $\dot{\omega} = (1-S_{KP})\dot{V}/r_o$ – гальмування відбувається на оптимумі навантажувально-зчіпних умов, значення $K_{PP} = 1 - S_{KP}$ відповідає відсутності пробного впливу. Це дозволяє визначити шлях підвищення адаптивних властивостей САУ у вигляді вимог до змінної

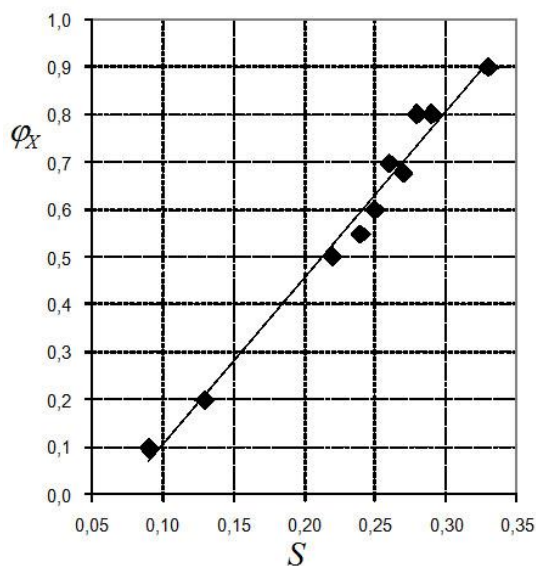


Рис. 2. Координати точок $(\varphi_{x,MAX}, S_{KP})$ для різних типів і станів дорожнього покриття

величини K_{PP} . Так, при $0 \leq S \leq S_K$ для прискорення виходу процесу управління на максимум залежності $\varphi_x = \varphi_x(S)$ величину K_{PP} слід задавати досить великою, при $S = S_{KP}$ пробний вплив можна припинити, тобто прийняти $K_{PP} = 1 - S_{KP}$, а при $S > S_{KP}$ величину слід знизити до $K_{PP} < 1 - S_{KP}$ з метою швидкого виводу об'єкта регулювання із нестійкої зони.

Для завдання залежності K_{PP} від контрольованих у процесі гальмування параметрів може бути використана лінійна апроксимація експериментальних даних положення оптимуму в $\varphi - S$ координатах, наведених у роботах Кнороза В.І. і Wong L. (рис. 2). Величину φ_x можна оцінити по величині параметра \dot{V}_x , який є контрольованим і легко вимірюється. Величина параметра S в ході гальмування може бути визначена по формулі

$$S = \frac{\omega_{\max} - \omega}{\omega_{\max}} + \delta S, \quad (4)$$

де ω_{\max} - кутова швидкість найбільш розгальмованого колеса; δS - поправочний коефіцієнт.

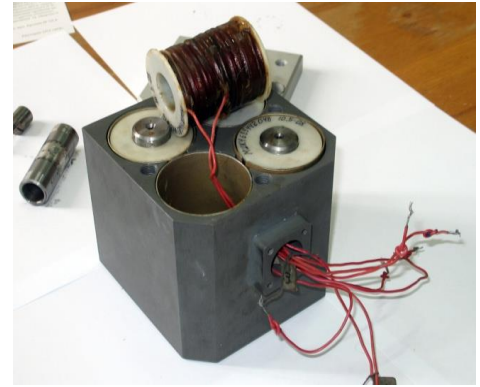
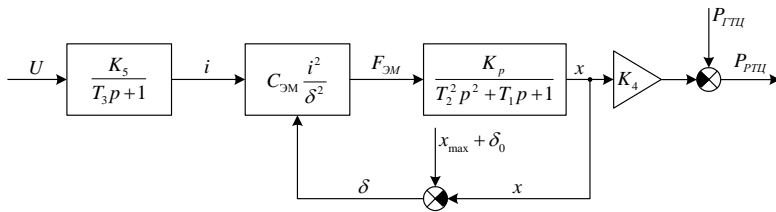
В роботі визначені коефіцієнти при S та \dot{V} для лінійної залежності K_{PP} від цих параметрів у вигляді

$$K_{PP} = 1,2 - 0,0433 \cdot S + 0,102 \cdot \dot{V}. \quad (5)$$

Такий спосіб завдання K_{PP} та використання оптимізованого значення K_q дозволило в умовах стрибкоподібної зміни типу(стану) опорної поверхні та пульсацій $\Delta\dot{\omega}$ суттєво підвищити якість регулювання та зменшити гальмівний шлях, що свідчить про досягнення цілей адаптації.

Третій розділ присвячений дослідженню осциляційної модуляції тиску з метою обґрунтування можливості її застосування у ВЕ дуальної адаптивної САУ екстремим гальмуванням і одержання характеристик такого ВЕ як ланки ланцюга автоматичного регулювання.

В роботі виконане удосконалення способу осциляційної модуляції тиску з розвантаженим плунжером, що дозволяє відмовитися від використання відсічного клапана та здійснювати модуляцію тиску при будь-якому зусиллі електромагніта, відмінному від нуля, при цьому можливий перетік по плунжерові не призводить до втрат гальмової рідини, що виключає необхідність його ущільнення в отворі. Зазначені вдосконалення дозволяють істотно знизити вартість усього ВЕ (як правило – 4-х каналного), підвищити надійність системи за рахунок використання мінімально необхідної кількості елементів і досягти зниження необхідної потужності електромагніта. Структурна схема складеної математичної моделі процесу та зовнішній вигляд виготовленого на базі ГНПП «Об'єднання Комунар» дослідного зразка ВЕ наведена на рис. 3.



а

б

Рис. 3. Структурна схема математичної моделі процесу осциляційної модуляції тиску (а), зовнішній вигляд ВЕ (б). p - оператор Лапласа; T_3, T_5 - постійна часу та коефіцієнт підсилення електромагнітного ланцюга; T_1, T_2, K_p, K_4 - постійні часу та коефіцієнти підсилення гідравлічного ланцюга; i - струм в обмотці електромагніта; δ, δ_0 - робочий та мінімальний зазор між сердечником і статором; x, x_{\max} - робочий і максимальний хід сердечника під впливом електромагніта; $C_{эм}$ - постійний коефіцієнт; $P_{гц}, P_{рц}$ - тиск у головному та робочому гальмовому циліндрі.

Дійсне значення коефіцієнта $C_{эм}$ і постійних часу T_1, T_2, T_3 було отримано ітераційним методом з метою забезпечення відповідності результатів моделювання осцилограмам, отриманим експериментальним шляхом, по параметрах: амплітуда перепаду тиску ΔP_{\max} та середнє значення тривалості перехідного процесу $\tau_{п} \approx 0,043$ с. Крім того, у модель була введена ланка чистого запізнювання для урахування величини затримки $\tau_3 \approx 0,014$ с фронту імпульсу зміни тиску стосовно фронту імпульсу вхідної напруги.

Величина перепаду тиску ΔP_{\max} під впливом зусилля електромагніта склала 2,3 МПа, чого у випадку екстреного гальмування на льоді недостатньо для запобігання блокуванню колеса. Недостатній перепад тиску може бути наслідком ряду причин, серед яких: «заїдання» плунжера у втулці, перехід плунжера в крайнє положення, що відповідає максимально можливому ходу та ін. Однак, пологий характер зміни тиску при підході до ΔP_{\max} свідчить про поступове вирівнювання сил, що діють на плунжер

$$C_{эм} \frac{i^2}{\delta^2} = \frac{\pi^2 d_{п}^4 E}{16V_{отс}} x, \quad (6)$$

де $V_{отс}$ - відсічений об'єм гальмової рідини; $d_{п}$ - діаметр плунжера, E - приведений об'ємний модуль пружності відсіченого обсягу гальмового приводу.

З урахуванням відомих конструктивних параметрів і сталих значень зазначених величин було визначене значення коефіцієнта $C_{эм,експ} = 2,454 * 10^{-5}$ для експериментального зразка. Зусилля електромагніта та абсолютна величина сили, що виникає внаслідок наявності перепаду тиску $F_{\Delta p}$, залежать від ходу плунжера x . При цьому максимальне його значення x_{\max} залежить від діаметра плунжера $d_{п}$ та вибирається з умови забезпечення необхідного скидання тиску. Зменшення $d_{п}$ для зменшення сили $F_{\Delta p}$ не уявляється можливим, оскільки це призводить до збільшення початкового зазору δ і, як наслідок, збільшення необхідної потужності електромагніта. У роботі ітераційним методом був визначений оптимальний діапазон зміни діаметра плунжера $d_{п} = 3,5..4$ мм і відповідна йому мінімально необхідна

потужність електромагніта, виражена за допомогою коефіцієнта $C_{ЭМ} = 3.5 * C_{ЭМ, ЭКСП}$, за умови забезпечення позитивної різниці

$$(F_{ЭМ} - F_{\Delta P}) > 0. \quad (7)$$

Різниця між величинами перепаду тиску відразу після подачі напруги на котушку електромагніта й після закінчення часу, необхідного для гальмування на слизьких дорогах, ($t_T = 15c$) не перевищує 5% від абсолютної величини перепаду тиску, що дає можливість зробити висновок про задовільну величину перетічок гальмової рідини між порожнинами РТЦ і ГТЦ у статичному режимі.

Часові і частотні характеристики модулятора тиску були отримані на уточненій математичній моделі виконавчого елемента та представлені на рис. 4.

Встановлено, що залежність $P_{CP} = P_{CP}(C)$ має нелінійний характер у всьому діапазоні частот. Через наявність зон нечутливості поблизу граничних значень шпаруватості її регулювання варто здійснювати в діапазоні $0.95 > C > 0.3$. Незважаючи на зменшення амплітуди пульсацій тиску при збільшенні частоти f залежність часу перехідного процесу від величини шпаруватості має явно нелінійний характер. При збільшенні частоти керуючого сигналу зменшується величина ΔP , однак це призводить до збільшення часу t досягнення P_{CP} , що знижує швидкодію ВЕ. Для частот вище за $80 Гц$ величина ΔP не перевищує $1 МПа$.

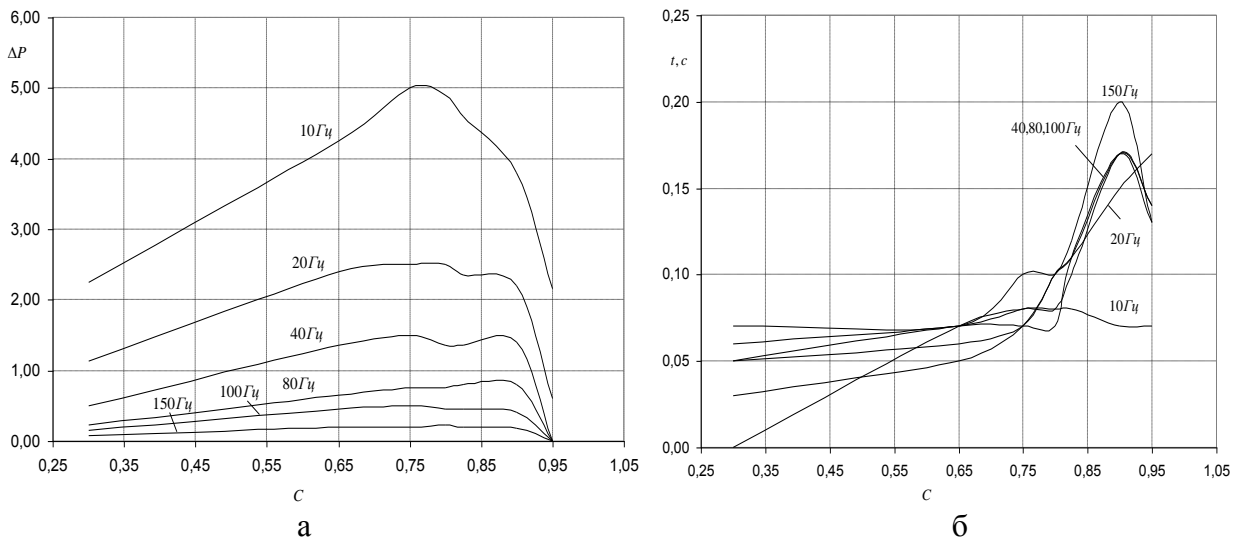


Рис. 4. Графік параметра $\Delta P = \Delta P(C, f)$ (а), графік параметра $t = t(C, f)$ (б)

Характеристика $P_{CP} = P_{CP}(C)$ близька до лінійної лише для шпаруватості $C < 0.75$, що відповідає перепаду тиску в РТЦ в $3 МПа$. Крім того, для частот керуючого сигналу більше $40 Гц$ не спостерігається істотної відмінності характеристик $P_{CP} = P_{CP}(C)$.

У четвертому розділі виконаний чисельний експеримент з метою визначення стійкості та керованості автомобіля в процесі управління, а також оцінці впливу запропонованих удосконалень САУ на якість регулювання та динаміку гальмування.

Для виконання чисельного експерименту була використана просторова математична модель руху легкового автомобіля в гальмовому режимі, отримана шляхом доповнення відомих з робіт Гецовича Є.М., Кнороза В.І., Литвинова О.С., Пчеліна І.К. математичних моделей наступних блоків: генератора збурень, контролера та модулятора тиску. На рис. 5 наведена структурна схема цієї моделі. Кожний блок схеми реалізує зв'язок між вхідними і

вихідними параметрами, які описуються диференційними рівняннями, логічними операціями та рівняннями з випадковими коефіцієнтами.

В процесі складання математичної моделі були прийняті наступні припущення:

- вважаємо остов автомобіля абсолютно твердим тілом, що має поздовжню площину симетрії, деформації рами на крутіння та вигин зневажаємо;
- координати положення центра підресореної та непідресореної мас відряховуємо від положення статичної рівноваги;
- вважаємо, що в процесі руху площина колеса залишається вертикальною, а поворот мостів у горизонтальній поздовжній площині при дії різних вертикальних навантажень відсутній (тобто не враховуємо вплив кінематики підвіски автомобіля), що підвищує розрахункову стійкість автомобіля, але, з огляду на малий статичний і динамічний хід підвіски автомобіля, дане припущення правомірне;
- вважаємо пружні та демпфіруючі елементи підвіски безмасовими, тобто вони характеризуються тільки піддатливістю та демпфіруванням, а маса елементів віднесена до підресореної та непідресореної частин автомобіля;
- невірноваженість і гіроскопічні моменти обертючих мас трансмісії та двигуна дорівнюють нулю, гальмування відбувається при відключеному від трансмісії двигуні, а частина моменту інерції деталей трансмісії приводяться до загального моменту інерції кожного колеса;
- у випадку екстреного гальмування з відключеним двигуном можна зневажити силою опору повітря та моментами опору кочінню коліс автомобіля через відносну малість даних величин у гальмовому режимі;

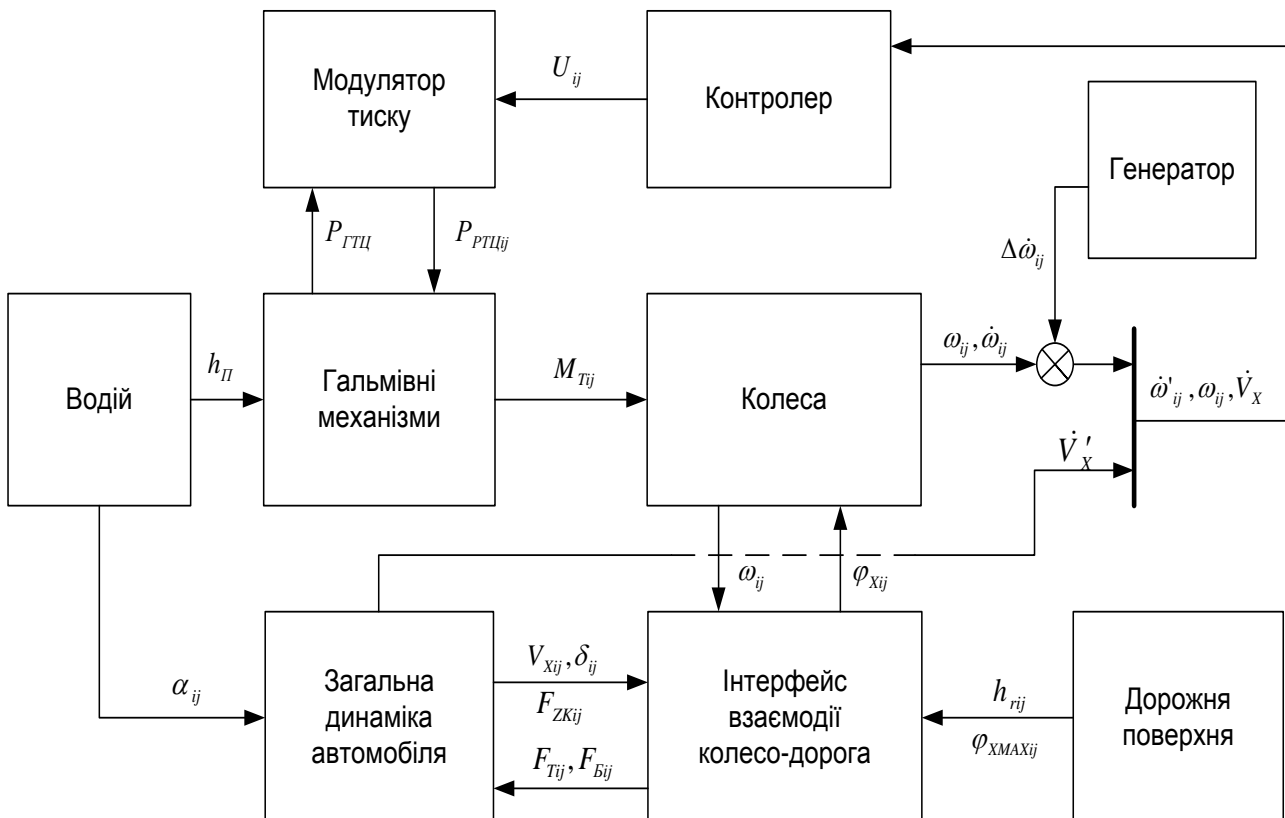


Рис. 5. Структурна схема математичної моделі процесу гальмування легкового автомобіля:
 F_{Tij}, F_{Bij} - гальмівні та бічні сили в системі координат, пов'язаній з колесом (i і j – номери осей і бортів автомобіля: $i = 1$ – передня вісь, $i = 2$ – задня вісь, $j = 1$ – лівий борт, $j = 2$ – правий борт); α_{ij} - кути повороту керованих коліс; V_{xij} - поздовжні швидкості коліс автомобіля в системі координат, пов'язаній з колесом; δ_{ij} - кути уводу коліс автомобіля; F_{zkij} - сили, що діють з боку автомобіля на колеса у вертикальному напрямку; \dot{V}_x - поздовжнє вповільнення автомобіля в системі координат, пов'язаної з автомобілем.

- процес гальмування розглядаємо з моменту повного притиснення колодок до гальмових барабанів(дисків) і в межах пружних деформацій матеріалу фрикційних накладок. Тому що при роботі сучасної САУ не відбувається повного розгальмовування гальмових механізмів у процесі одного гальмування, дане допущення правомірне. З огляду на дане припущення, прийнята статична модель гальмового механізму, у якій величина гальмового моменту визначається результуючими від всіх елементарних сил, нормальних до поверхні тертя «барабан-накладка» та «диск-накладка»;

- гальмування відбувається на горизонтальній поверхні, контакт шини з дорогою крапковий, у вертикальному напрямку до неї прикладається одна сила, обумовлена ординатою дорожньої поверхні під центром колеса, що в загальному випадку справедливо для руху автомобіля по асфальтобетонних і ґрунтових дорогах;

- при описі рульового управління не враховуємо пружні та інерційні елементи його ланок, зазори та інші нелінійності, а як модель приймемо лінійну коливальну ланку.

Оцінка впливу САУ на динаміку гальмування автомобіля була виконана за методикою, наведеною в роботах Гуревича Л. В., з використанням основних критеріїв гальмової ефективності, стійкості та керованості автомобіля:

- гальмового шляху S_T , при цьому на слизьких дорогах САУ не повинна знижувати ефективність у порівнянні з гальмуванням при заблокованих колесах ($S_T \leq S_{T,БЛ}$ для мокрого асфальтобетону та зледенілого дорожнього покриття), а на дорожніх покриттях з високим коефіцієнтом зчеплення допускається збільшення гальмового шляху не більше ніж на 5% ($S_T \leq 1,05S_{T,БЛ}$ для сухого асфальтобетону);

- відхилення автомобіля Δ від наміченої траєкторії руху

$$\Delta = \Delta Y + \text{MAX}_{ij} \left(\sqrt{d_{ij}^2 + a_{ij}^2} \sin(\varphi + \lambda_{ij}) \right), \quad (8)$$

де ΔY - відхилення автомобіля, виміряне вздовж перпендикуляра до наміченої траєкторії руху.

Граничні значення Δ можуть бути задані з умови руху автомобіля в коридорі безпеки при допущенні, що до початку гальмування автомобіль рухався строго посередині смуги руху

$$0,5B_{\Pi} \geq \Delta, \quad (9)$$

де B_{Π} - ширина смуги руху (для України регламентована ширина смуги руху для більшості доріг становить 3,5м);

Для визначення траєкторної керованості в даній роботі методом послідовних наближень було визначено максимально можливе, з урахуванням обмеження

$$0,5B_{\Pi} \cos\left(\arctg\left(\frac{Y}{X}\right)\right) \leq \Delta \quad (10)$$

переміщення вздовж осі Y , що дозволяє на практиці виконати об'їзд перешкоди або здійснити маневр типу «поворот».

Вирішення системи рівнянь було зроблено в системі Matlab/Simulink (Ліц.№ 16-48523-39-096-20676-41897) з використанням методів чисельного інтегрування. Моделювалися наступні режими руху:

1) прямолінійне гальмування до повної зупинки на сухій (з початковою швидкістю 110 км/ч), мокрій (з початковою швидкістю 90 км/ч) та зледенілій дорозі (з початковою швидкістю 60 км/ч);

2) прямолінійне гальмування до повної зупинки при стрибкоподібній зміні типу та стану опорної поверхні (перехід): із сухого асфальтобетону на мокрий (початкова швидкість 90 км/ч) та з мокрого асфальтобетону на зледенілу дорогу (початкова швидкість 60 км/ч);

3) гальмування при бортовій нерівномірності (мікст) коефіцієнтів зчеплення: лівий борт - суха, правий - мокра дорога (початкова швидкість 90 км/ч);

4) криволінійне при виконання маневру "поворот" з одночасним гальмуванням на сухій (з початковою швидкістю 90 км/ч), мокрій (з початковою швидкістю 60 км/ч) та зледенілій дорозі (з початковою швидкістю 40 км/ч).

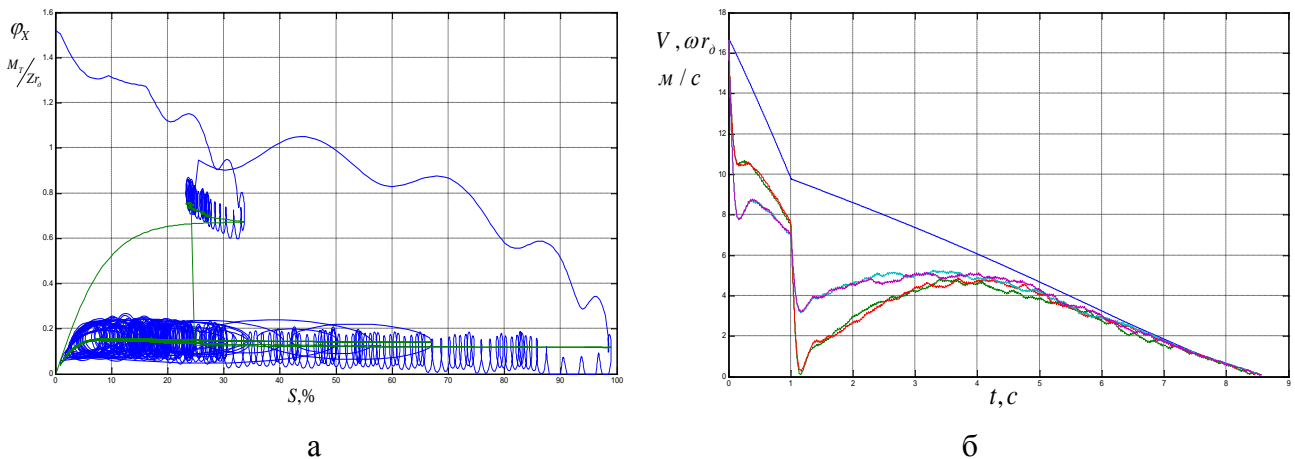


Рис. 6. Гальмування при стрибкоподібному переході з мокрого асфальтобетону на лід з початковою швидкістю 60 км/год (а) і діаграма гальмування при стрибкоподібному переході із сухого асфальтобетону на лід з початковою швидкістю 60 км/год (б)

При моделюванні першого режиму руху для всіх типів опорної поверхні не допускається блокування жодного з коліс до моменту відключення САУ ($V_x < 1 \text{ км/ч}$). Максимальна величина перерегулювання спостерігається в початковій стадії гальмування і дорівнює для мокрого та сухого асфальтобетону менш 3%, для зледенілої дороги - 25%.

В умовах стрибкоподібної зміни типу(стану) опорної поверхні (рис. 6) в бік погіршення зчіпних властивостей САУ забезпечує досить швидко (менш 0,5с) реакцію, що

полягає в перенастроюванні на новий оптимум. Це свідчить про достатню швидкодію BE. У ході перенастроювання на новий оптимум не допускається повне блокування коліс.

Наявність бортової нерівномірності коефіцієнтів зчеплення в ході гальмування призводить до необхідності задіяти модель адекватного водія для забезпечення виконання умови (10). При цьому САУ забезпечує такий режим гальмування, при якому колесо не переходить у заблокований стан і зберігає здатність сприймати бічні реакції в площині дороги.

Таблиця 1

Гальмування за умови бортової нерівномірності коефіцієнту зчеплення

Параметр	Умови гальмування					
	Лівий борт - мокрий асфальтобетон, правий - сухий, початкова швидкість 60 км/год		Лівий борт – лід, правий - мокрий асфальтобетон, початкова швидкість 60 км/год		Лівий борт – лід, правий – сухий асфальтобетон, початкова швидкість 40 км/год	
Поворот керма α	0	var	0	var	0	var
Пересування в поперечній площині $Y, м$	-0,89	-0,25	-3,92	-0,21	-0,63	-0,22
Гальмівний шлях $X, м$	25,51	25,37	53,34	54,32	14,03	13,92
Поворот автомобіля навколо вертикальної осі $\varphi, гр$	-23,47	-15,60	-72,03	-35,55	-32,96	-27,68
Час гальмування $t, с$	2,90	2,86	5,46	6,12	2,42	2,37
Відхилення від наміченої траєкторії руху $\Delta, м$	1,96	1,19	3,92	1,43	1,82	1,35

Рух вздовж криволінійної траєкторії з одночасним гальмуванням у більшості випадків призводить до появи істотного повороту автомобіля навколо вертикальної осі. Незважаючи на це, автомобіль залишається в коридорі безпеки для всіх типів опорної поверхні при роботі САУ.

Гальмування при русі за криволінійній траєкторії

Параметр	Умови гальмування					
	Сухий асфальтобетон		Мокрий асфальтобетон		Лід	
	початкова швидкість, км/год					
	110	90	90	60	60	40
Поворот керма $\alpha, \text{гр}$	15	10	12	10	10	10
Пересування в поперечній площині $Y, \text{м}$	6,90	3,15	9,53	2,20	8,95	1,50
Гальмівний шлях $X, \text{м}$	76,24	47,47	85,78	35,35	111,00	47,58
Поворот автомобіля навколо вертикальної осі $\varphi, \text{гр}$	42,25	25,19	41,32	25,43	43,25	26,47
Час гальмування $t, \text{с}$	5,51	3,52	6,41	4,01	12,55	8,10
Відхилення від наміченої траєкторії руху $\Delta, \text{м}$	1,29	1,25	1,28	1,10	1,29	1,11
Y/X	0,09	0,07	0,11	0,06	0,08	0,03

У додатках наведено графіки поверхонь критерію якості регулювання, результати моделювання гальмування автомобільного колеса при управлінні дуальною адаптивною САУ з постійними та змінними коефіцієнтами, таблиця результатів експериментального дослідження виконавчого елементу САУ, представлення математичної моделі легкового автомобіля в системі Matlab/Simulink, результати моделювання динаміки гальмування та акти впровадження результатів дисертаційної роботи при розробці системи АБС та в навчальний процес кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ “ХПІ”.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу удосконалення системи управління екстремим гальмуванням автомобіля в умовах невизначеності.

1. Екстремальна характеристика об'єкту управління дістає змін під впливом збурень, що проявляється у вигляді пульсацій кутового прискорення колеса $\Delta\dot{\omega}$, обумовлюють нестационарність об'єкту управління та описані за допомогою кусочно-лінійної функції з випадковими параметрами, та збурень, що є наслідком стрибкоподібних змін навантажувально-зчіпних умов і обумовлюють апріорну невизначеність форми екстремальної характеристики та положення оптимуму. Такі збурення описані за допомогою емпіричних даних положення оптимуму для трьох основних типів опорної поверхні.

2. У результаті виконаної оптимізації параметрів дуальної адаптивної САУ з постійними коефіцієнтами за критерієм відхилення об'єкту від екстремального режиму

функціонування отримані суттєво різні оптимальні значення K_q та K_{PP} для трьох основних типів опорної поверхні. Це не дозволяє мінімізувати критерій якості регулювання в умовах апріорної невизначеності типу опорної поверхні.

3. Запропонований спосіб завдання K_{PP} у функції від контрольованих у процесі гальмування параметрів дозволяє досягти цілей адаптації: своєчасна реакція на збурення, що є наслідком стрибкоподібних змін навантажувально-зчіпних умов, та зниження впливу нестационарності об'єкту управління на якість регулювання. При цьому лінійна апроксимація функції $K_{PP} = 1,2 - 0,0433 \cdot S + 0,102 \cdot V$ дозволяє одержати близькі до оптимальних значення коефіцієнту пробних впливів для більшості типів(станів) опорної поверхні.

4. Розроблена модель осциляційної модуляції тиску дозволяє досягти істотного спрощення системи управління та реалізувати регулювання тиску в РТЦ шляхом зміни шпаруватості керуючого сигналу.

5. У результаті дослідження осциляційної модуляції тиску в РТЦ на уточненій результатами експериментальних випробовувань програмно-технічній моделі встановлений раціональний діапазон регулювання шпаруватості 0,3...0,9 і визначена передатна функція виконавчого елемента $P_{CP} = P_{CP}(C)$. Визначений оптимальний з погляду мінімізації потужності електромагніту діаметр плунжера (3,5..4мм). Амплітуда пульсацій тиску в РТЦ не перевищує 1 МПа на частотах керуючого сигналу до 80 Гц включно. При подальшому збільшенні частоти керуючого сигналу знижується швидкодія виконавчого елемента.

6. Максимальне перерегулювання спостерігається в початковій стадії управління гальмуванням і не перевищує 5% для більшості типів опорної поверхні. Для доріг із гранично низькими зчіпними властивостями перерегулювання не перевищує 25%. При цьому забезпечується безблокувальне гальмування для всіх досліджуваних типів опорної поверхні.

7. Перенастроювання САУ на новий оптимум в умовах діючих збурень відбувається менш ніж за 0,5с. Це підтверджує можливість використання осциляційного модулятора тиску в якості виконавчого елемента САУ та служить кількісною оцінкою здатності САУ адаптуватися до істотної зміни навантажувально-зчіпних умов.

8. Дія бічних сил у ході гальмування із включеною САУ (у режимах "мікст" і "поворот") і за умови наявності коригувального впливу водія не призводить до виходу автомобіля з коридору безпеки, оскільки колесо зберігає здатність сприймати бічні реакції в площині дороги.

9. Результати роботи впроваджені на ДНВП "Об'єднання Комунар" м. Харків та у навчальний процес кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ «ХПІ», що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Селевич С. Г. Анализ параметров пульсаций углового ускорения одиночного колеса / Гецович Е.М., Селевич С.Г. // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – Вып. 16, – С. 222–223.

Здобувачем виконаний аналіз збурень, що діють на ОУ в процесі гальмування.

2. Селевич С. Г. Пространственная математическая модель трехосного автомобиля / Постный В.А., Струков А.С., Селевич С.Г., Жадан М.В. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – № 10, – С. 87 – 101.

Здобувачем складена просторова математична модель руху автомобіля в гальмовому режимі.

3. Селевич С. Г. Модель процесса осцилляционной модуляции давления в гидравлическом тормозном приводе / Гецович Е. М., Мартынец Т. В., Селевич С. Г. // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – № 13, – С. 88 – 92.

Здобувачем складена математична модель процесу модуляції тиску у виконавчому апараті гідравлічного гальмового приводу.

4. Селевич С. Г. К вопросу о выборе коэффициента пробных воздействий в дуальных адаптивных системах управления объектами с заранее неизвестным неустойчивым оптимумом / Гецович Е.М., Селевич С.Г., Мартынец Т.В. // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – № 59, – С. 63 – 69.

Здобувачем обґрунтовані необхідність, параметри та отримана залежність для завдання коефіцієнта пробних впливів у дуальних адаптивних системах управління екстремим гальмуванням автомобіля.

5. Селевич С. Г. Совершенствование способа модуляции давления в гидравлическом тормозном приводе / Гецович Е. М., Мартынец Т. В., Селевич С. Г. // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – № 6, – С. 71 – 75.

Здобувачем запропонований спосіб модуляції тиску у виконавчому апараті гідравлічного гальмового приводу.

6. Селевич С. Г. Моделирование процесса осцилляционной модуляции давления в гидравлическом тормозном приводе / Гецович Е. М., Мартынец Т. В., Селевич С. Г. // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – № 12, – С. 114 – 117.

Здобувачем проведене моделювання процесу модуляції тиску у виконавчому апараті гідравлічного гальмового приводу.

7. Пат. 87689 Україна, МПК В60Т 8/00. Модулятор тиску в гідравлічному гальмівному приводі № а 2006 14087; Заявл. 29.19.06; Опубл. 10.07.08, Бюл. № 13.

Здобувачем запропоновано удосконалення конструкції модулятора тиску у гідравлічному гальмовому приводі.

8. Пат. 87699 Україна, МПК В60Т 8/00. Процес автоматичного управління гальмуванням колісної машини № а 2007 02590; Заявл. 12.03.07; Опубл. 25.09.08, Бюл. № 18.

Здобувачем запропоновано удосконалення процесу управління гальмуванням шляхом завдання змінного коефіцієнта пробних впливів.

9. Селевич С.Г. Состояние работ по созданию отечественной АБС для легковых автомобилей / Гецович Е.М., Селевич С.Г., Мартынец Т.В. // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – Вып. 25, – С. 52–58.

Здобувачем отримані характеристики виконавчого елемента САУ та визначені його раціональні параметри.

АНОТАЦІЇ

Селевич С.Г. Удосконалення системи управління екстремим гальмуванням автомобіля в умовах невизначеності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи і процеси управління. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010 р.

Дисертацію присвячено удосконалення системи управління екстремим гальмуванням автомобіля в умовах невизначеності шляхом адаптації процесу управління до змінних режимів функціонування.

На підставі вивчення особливостей процесу екстремого гальмування автомобіля досліджено характер та складені математичні моделі збурень, що діють на об’єкт управління. Обґрунтована необхідність, запропоновано спосіб та отримана залежність корегування коефіцієнта пробних впливів у функції від контрольованих у процесі гальмування

параметрів. Розроблено модель осциляційної модуляції тиску, яка дозволила відмовитися від ряду елементів, що суттєво знизило собівартість та надійність системи управління в цілому. Виконано експериментальне дослідження осциляційної модуляції тиску в РТЦ, встановлено раціональний діапазон регулювання шпаруватості, визначена передатна функція виконавчого елемента, та обґрунтований вибір співвідношення конструктивних параметрів з ціллю зменшення потужності електромагніту. Виконано чисельний експеримент по оцінці впливу запропонованих удосконалень САУ на стійкість та керованість автомобіля.

Ключові слова: адаптація керованих процесів, невизначеність, оптимізація, програмно-технічні засоби і моделі, екстрене гальмування автомобіля, АБС, осциляційна модуляція.

Селевич С.Г. Совершенствование системы управления экстренным торможением автомобиля в условиях неопределенности. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, 2010 г.

Диссертация посвящена совершенствованию системы управления экстренным торможением автомобиля в условиях неопределенности путем адаптации процесса управления к переменным режимам функционирования. На основании изучения особенностей процесса экстренного торможения автомобиля исследован характер и составлены математические модели возмущений, которые действуют на объект управления. Выполненная оптимизация параметров дуальной адаптивной САУ с постоянными коэффициентами по критерию отклонения объекту управления от экстремального режима функционирования в условиях действующих возмущений позволила обосновать необходимость их корректировки в ходе управления. Предложен способ задания коэффициента пробных воздействий в функции от контролируемых в процессе торможения параметров, что позволило достичь целей адаптации: своевременная реакция на возмущения, которые является следствием скачкообразных изменений нагрузочно-цепных условий, и снижение влияния нестационарности объекта управления на качество регулирования.

Разработана модель осцилляционной модуляции давления, позволяющая отказаться от ряда элементов, что существенно снизило себестоимость и надежность системы управления в целом, и реализовать регулирование давления в РТЦ путем изменения скважности управляющего сигнала. В результате выполненного экспериментального исследования осцилляционной модуляции давления в РТЦ установлен рациональный диапазон регулирования скважности, определена передаточная функция исполнительного элемента, и обоснован выбор соотношения конструктивных параметров с целью уменьшения мощности электромагнита.

На основании результатов численного эксперимента по оценке влияния предложенных совершенствований САУ на устойчивость и управляемость автомобиля подтверждена возможность использования осцилляционного модулятора давления в качестве исполнительного элемента САУ и установлено, что действие боковых сил в режимах "микст" и "поворот" при условии наличия корректирующего влияния водителя не приводит к выходу автомобиля за пределы коридора безопасности.

Ключевые слова: адаптация управляемых процессов, неопределенность, оптимизация, программно-технические средства, экстренное торможение автомобиля, АБС, осцилляционная модуляция.

Selevich S.G. Control system improvement of the car urgent braking process in the vagueness conditions. Manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical sciences in speciality 05.13.03 – Control Systems and Processes. – National Technical University “Kharkiv Politechnical Institute”, 2010.

The thesis is dedicated to the improvement of urgent car braking control system in the conditions of vagueness by control process adaptation to the variable modes of functioning.

On the basis of car urgent braking process study features character is investigational and the mathematical models of indignations which operate on the object of management are made. Reasonable necessity, it is offered method and got dependence of coefficient of trial influences manipulation in the function of controlled parameters in the process of braking. The model of pressure modulation, which allowed giving up the row of elements, is worked out, that substantially cut prime cost and failsafety of control system are proposed. Experimental research of pressure modulation is executed. The rational range of nterparticle adjusting, the transmission function of executive element and reasonable choice of correlation of structural parameters, by the aim of electromagnet power diminishing, is set. A numeral experiment by estimation of the offered improvements influence is executed.

Keywords: processes adaptation, vagueness, optimization, programmatic-technical facilities, car urgent braking, ABS, pressure modulation.

Відповідальний за випуск
к.т.н., доц. кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ “ХПІ”
Мандрика В.Р.

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 0,9. Тир. 100 прим. Зам. №
Підписано до друку 12 серпня 2010 р. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у СПД ФО Бровін О.В.
м. Харків, майдан Свободи, 7 т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30

Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру видавців та виготовників
видавничої продукції серія ДК №3587 від 23.09.09
