**Дем'янюк Володимир Андрійович. Науково-прикладні основи системного аналізу та оптимального проектування гальмових керувань автобусів: дис... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Національний ун-т "Львівська політехніка". - Л., 2005**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Дем’янюк В.А.** Науково-прикладні основи системного аналізу та оптимального проектування гальмових керувань автобусів. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2005.  Розроблено основи системного аналізу та оптимального проектування гальмового керування автобусів та його підсистем (гальмові механізми, гальмовий привод, підсистема регулювання гальмівних сил, антиблокувальна система) зі створенням нових та вдосконалених математичних моделей, методів, програмного забезпечення і поглибленим аналізом робочих процесів з урахуванням структурно-функціональних взаємозв’язків з основними системоутворювальними елементами відкритої ергатичної системи „гальмуючий автобус” (кермове керування, підвіска, „колесо-дорога”, „водій”).  Запропоновано нову концепцію та алгоритми багатокритеріального оптимального проектування гальмових керувань автобусів з використанням статистичних вагових коефіцієнтів та розробленого векторного критерію ефективності. Здійснено параметричну оптимізацію підсистем гальмового керування та запропоновано їх нові технічні рішення.  **Ключові слова:** автобус, гальмове керування, гальмовий механізм, гальмовий привод, регулятор гальмівних сил, антиблокувальна система, системний аналіз, оптимальне проектування, векторний критерій, параметрична оптимізація. | |
| |  | | --- | | 1. У дисертації розв’язана наукова проблема, яка полягає в розробленні теоретичних основ аналізу та оптимального проектування на засадах системотехніки ГК автобусів і їх підсистем (гальмові механізми, ПГП, РГС, АБС) з врахуванням структурно-функціональних зв’язків з іншими системоутворювальними елементами ВЕГА (гальмуючий автобус, кермове керування, підвіска, колесо - дорога, водій) із створенням нових концепцій, методів, математичних моделей, критеріїв ефективності та їх прикладній реалізації – створенні оригінального програмного забезпечення, алгоритмів, нових методик та прогресивних технічних рішень підсистем ГК автобусів. Наукове значення отриманих результатів полягає в тому, що вони формують високий рівень методології проектування ГК автобусів нового покоління, а їх впровадження в практику сприяє підвищенню активної конструктивної безпеки автобусів, на частку яких припадає понад 60% пасажирських перевезень в Україні.  2. Розроблено оригінальну просторову ММ відкритої ергатичної системи „гальмуючий автобус”, який складається з 9 мас і має 14 ступенів вільності, з урахуванням структурно-функціональних взаємозв’язків з ММ інших системоутворювальних підсистем - підвіска, кермове керування, колесо - дорога та водій. У ММ підсистеми “колесо-дорога” набула подальшого розвитку концепція про спільну природу та якісну подібність характеристик взаємодії колеса з дорогою у поздовжньому і поперечному напрямках, на підставі якої отримано залежності у вигляді багатофакторних неперервних функцій коефіцієнтів поздовжньої, поперечної та сумарної дотичних сил, які використані для визначення кінематичних і силових параметрів гальмуючого колеса в загальному випадку його руху, а графічна інтерпретація їх взаємозв’язку узагальнена у вигляді еліптичного параболоїду зчеплення. На підставі загальної ММ створено 7 ієрархічно об’єднаних між собою ММ різної складності з відповідним програмним забезпеченням.  3. Для комплексної оцінки поздовжнього та поперечного переміщення автобуса під час аналізу та синтезу ГК розроблено метод формування та виведені аналітичні залежності для векторного критерію ефективності екстреного гальмування автобуса, новизна якого полягає в тому, що він не потребує використання вагових коефіцієнтів і в ньому формалізовані умови, що забезпечують чутливість до відхилення нормованих скалярних критеріїв від Парето-оптимальних та граничних значень. Розроблені в роботі заходи з покращання функціональних характеристик та оптимізації підсистем ГК сприяли зменшенню ВКЕЕГА.  4. Кількісним аналізом впливу конструктивних і експлуатаційних чинників на критерії ефективності екстреного гальмування автобуса отримано 9 аналітичних експрес-моделей з трикомпонентними графічними залежностями. Встановлено, що за умови збереження технічної стійкості, коефіцієнт нерівності гальмівних моментів на передніх колесах автобусів середнього класу не повинен перевищувати 8%, а на задніх 10%. Виявлено явище самоповертання керованих коліс під час гальмування, досліджено його вплив на курсовий кут та бокове зміщення автобуса і з’ясовані заходи щодо його усунення. З використанням моделі “водій” підтверджено, що втручання водія різко зменшує кут повороту автобуса під час гальмування із заносом, а при швидкості більшій 9 м/с і тривалості реакції водія більшій 0,8 с ефективне гашення заносу можливе лише, якщо задіяно обидва канали передатної функції водія – зусилля на педалі та поворот кермового колеса. Обґрунтована доцільність збільшення оптимального коефіцієнта зчеплення jо від 0,3, що регламентується нормативними документами, до 0,4. Вперше встановлено ефект залежності оптимального коефіцієнта зчеплення від початкової швидкості і вперше запропоновано спосіб регулювання гальмівних сил за 3-сигнальним принципом, тобто не тільки у функції сповільнення АТЗ (чи пропорційного їй параметру) та маси АТЗ, але і у функції його швидкості. З використанням прямого методу теорії стійкості Ляпунова вдосконалено метод теоретичного аналізу стійкості гальмуючого автобуса під час неусталеного руху зі сповільненням на основі запропонованих ММ взаємодії гальмуючих коліс з дорогою у вигляді багатофакторних функцій поздовжніх та поперечних питомих дотичних сил.  5. Під час проведення аналізу та синтезу підсистеми “гальмові механізми автобусів” розроблена ММ для функціонального розрахунку БГМ, яка відрізняється універсальністю (з позицій її придатності для розрахунку різних типів гальмових механізмів) та розширеним складом врахованих параметрів. Вперше розроблено концепцію і методи отримання фрикційних характеристик гальмових механізмів і їх пар тертя у вигляді трифакторних аналітичних і просторових залежностей відповідно еквівалентного та фізичного коефіцієнтів тертя від температури, швидкості ковзання і тиску у фрикційній парі. Ними доповнена ММ з метою підвищення точності моделювання (різниця між розрахунковим та експериментальним значенням моменту не перевищувала 9%). Розроблено метод та вперше здійснено параметричну оптимізацію (за 10 параметрами) БГМ з колодками, що мають дві ступені вільності, і знайдено таке оптимальне поєднання їх значень, яке збільшує коефіцієнт ефективності гальм на 17 - 23%. Запропоновано методи багатофакторних досліджень теплових процесів БГМ і ДГМ на основі методів скінчених елементів та кінцевих різниць. Це дає змогу на стадії проектування вибирати основні конструктивні параметри гальм та фрикційні матеріали з умови достатньої енергоємності і прогнозувати температурні режими як у нормативних режимах випробувань, так і під час імітації умов руху на міських та гірських маршрутах, яким властива висока енергонавантаженість гальм (за результатами досліджень - на міських маршрутах до 8,5 кДж/с з температурою пар тертя до 280оС). Використання сучасних металокерамічних накладок знижує, порівняно з азбополімерними, середню температуру гальмового диска до 30%, а застосування вентиляційних каналів – на 9 - 13%.  6. Вдосконалено методи визначення механічних та термічних напружень в елементах гальмового диска з розробленням ММ, в яких враховано реальне силове навантаження диска та фактичні температурні поля його ротора і фланця. Досліджено вплив розмірів гальмового диска на величину механічних напружень і встановлено, що максимальні дотичні напруження, розраховані за цим методом, істотно перевищують їх середні значення. Із зменшенням кута охоплення у 2 рази максимальні дотичні напруження зростають у 1,5 - 2 рази. Створено класифікації ДГМ та автоматичних регуляторів зазору у фрикційних парах, а також розроблено конструкції 9 варіантів ДГМ для автобусів середнього та великого класів з використанням прогресивних технічних рішень, 4 з яких захищені авторськими свідоцтвами на винаходи. Запропонований ДГМ з клиново-роликовим перетворювачем за однакової ефективності з БГМ має на 30% меншу масу, а в ДГМ з пневмотором відпадає потреба у застосуванні механічного перетворювача.  7. У ММ, розробленій для уточненого відтворення робочих процесів ПГП, його аналізу та параметричного синтезу, привод поданий як багатомодульна пневмосистема з розподіленими параметрами, а ММ - у вигляді кінцево-різницевих сіток, яка характерна тим, що передача міжмодульної інформації в ній здійснюється за допомогою кубічних інтерполяційних сплайнів. Ідентифікація коефіцієнтів місцевого опору здійснена за створеною оптимізаційною програмою. З використанням розроблених алгоритмів та програмного забезпечення отримані поліноміальні залежності для аналізу динамічних властивостей контурів ПГП з довільними комбінаціями досліджуваних чинників. Цим з’ясовано вплив останніх, а також структурних схем ПГП на час спрацювання, осьову і бортову несинхронності контурів приводу (осьова несинхронність 0,1 с в середньому відповідає різниці об’єму гальмових камер 1510-5м3 або різниці довжин стандартних трубопроводів 3,5м). Відхилення між результатами моделювання та експерименту не перевищували 9%. Розв’язанням оптимізаційної задачі визначено координати розташування гальмового крана з умови ліквідації осьової несинхронності спрацювання контурів приводу як за відсутності, так і за наявності ПК. Розроблено методику параметричного синтезу контурів приводу, які використовуються в ЕПГП та АБС автобусів. Для дослідження ПГП в реальному режимі часу створено метод отримання спрощених ММ на основі апроксимувальних аперіодичних ланок, які використовуються для аналітичного подання перехідних і АЧХ контурів приводу.  8. Вдосконалено метод визначення коефіцієнта використання сили зчеплення коліс з дорогою в загальному випадку нелінійності коефіцієнта розподілу сумарної гальмівної сили та отримано аналітичні залежності, які змінюють традиційне уявлення щодо послідовності блокування коліс, а отже, стійкості і керованості автобуса на дорогах з коефіцієнтом зчеплення 0,1 - 0,25. Обгрунтовано аналітичні умови та розроблено практичні рекомендації щодо забезпечення постійного номінального значення коефіцієнта розподілу сумарної гальмівної сили, а відтак, і усунення негативних наслідків, пов’язаних з нелінійністю останнього. Розвинено методи визначення оцінювальних критеріїв регулювання гальмівних сил та вибору законів регулювання на засадах імовірнісного підходу (з імовірністю виконання не меншою 97%), а також обґрунтувано структуру та визначено параметри одноканального та двоканального пневматичних фільтрів у ланці зв’язку РГС з пневматичною підвіскою. Для двоканального пневматичного фільтра рекомендуються такі параметри: діаметр дроселя 3 – 5 мм; об’єм додаткової камери (0,3 - 0,5)10-3м3. З урахуванням результатів теоретичного аналізу розроблені та впроваджені на автобусах нові конструкції РГС, науково-технічна новизна яких підтверджена 6 авторськими свідоцтвами на винаходи.  9. Розв’язанням задачі синтезу оптимального зворотного зв’язку структурної схеми АБС обґрунтовано перелік основних керувальних параметрів алгоритмів АБС для автобусів різних класів. Розроблена оптимізаційна програма та здійснено комп’ютерний синтез законів керування, які забезпечують інваріантність АБС та стабілізацію фазових траєкторій у визначених межах фазового простору при керуванні за розімкнутою схемою, а також запропонована методика комп’ютерного синтезу та сформовані функції зворотного зв’язку алгоритму АБС. Отримано залежності, за допомогою яких можна здійснювати опосередковану ідентифікацію коефіцієнта проковзування, коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою, та маси автобуса. Запропоновано дві схеми алгоритмів та розроблені програми синтезаторів опорної швидкості колеса для мікропроцесорного блоку керування АБС на основі максимальних кутових швидкостей та кутових пришвидшень коліс. Встановлено, що синтезовані на запропонованих принципах адаптовані алгоритми АБС разом з алгоритмами синтезаторів опорної швидкості колеса забезпечують стабільну роботу АБС, в тому числі і на слизьких дорогах (j = 0,2 - 0,25), що є проблемою для більшості алгоритмів існуючих АБС.  10. Розроблено методи, алгоритми, програмне забезпечення та здійснено оптимальне проектування ГК в цілому. Огрунтовано оптимальне комплектування агрегатами ГК автобуса з умови виконання вимог нормативних документів щодо оцінювальних показників всіх його гальмових систем за одночасного забезпечення мінімальної вартості ГК (реалізовано на автобусі А-144). Запропоновано МБОП ГК автобусів та розв’язані задачі з визначення: оптимальних значень сумарного гальмівного моменту та коефіцієнта розподілу гальмівних сил з урахуванням бортової нерівності гальмівних моментів; оптимальних параметрів алгоритмічного принципу модифікованого індивідуального регулювання алгоритму АБС. Встановлено, що для автобуса А-092 оптимальні значення швидкостей, за яких доцільно переходити з алгоритмічного принципу SL на IR, становлять для передніх і задніх коліс відповідно 30 км/год та 35 км/год.  11. З метою перевірки результатів теоретичних досліджень створено: інерційний стенд з автоматизованою електричною схемою керування та вимірювальним комплексом, який дає змогу проводити експериментальні дослідження функціональних і фрикційних характеристик БГМ і ДГМ та імітувати режими нормативних випробувань 0, І і ІІ; два стенди з вимірювальними комплексами для експериментального дослідження робочих процесів ПГП та їх елементів; дві дорожні лабораторії, оснащені програмно-вимірювальними комплексами, в одному з яких швидкість, шлях та сповільнення вимірювалися безконтактним давачем з обробкою та відображенням інформації за допомогою портативного комп’ютера. Результатами експериментальних досліджень підтверджена адекватність розроблених ММ всіх підсистем гальмового керування і засвідчена добра якісна та задовільна кількісна збіжність (8-15%) результатів моделювання з експериментальними даними. Поповнена база знань щодо всіх підсистем ГК, яка необхідна проектувальникам і дослідникам для моделювання процесу гальмування автобусів та проектування гальмових керувань. Експериментально підтверджена працездатність та ефективність трьох нових конструкцій ДГМ, нового ПК та трьох нових конструкцій РГС, один з яких був установлений на 10406-ти автобусах ЛАЗ. Практична цінність роботи підтверджена також актами впроваджень її результатів на 4 підприємствах, які виготовляють та проектують автобуси. Розроблені методи аналізу та синтезу ГК, а також створені стенди та пристрої використовуються в навчальному процесі у НУ „Львівська політехніка”.  Перспективними напрямками розвитку досліджень можна вважати поширення запропонованих концепцій, методів, ММ та програмного забезпечення на багатоланкові автобуси, інші АТЗ, а також їх використання у відповідних САПР. Запропонований ВКЕЕГА та метод багатокритеріального оптимального проектування можна ефективно використовувати у проектуванні інших систем АТЗ, а також в інших галузях техніки та сферах знань. | |