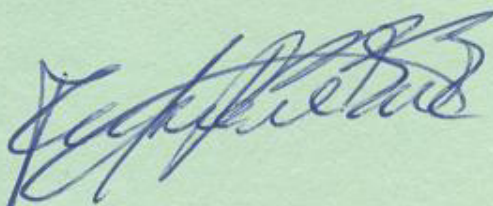


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Михалевич Микола Григорович



УДК 629.3

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗЧЕПЛЕННЯМ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЙ N_3 ТА M_3
З МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

Спеціальність 05.22.02 — Автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Богомолов Віктор Олександрович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,

Кайдалов Руслан Олегович,

Національна академія Національної гвардії України,
начальник кафедри бойового та логістичного
забезпечення

доктор технічних наук, професор,

Дущенко Владислав Васильович,

Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,

професор кафедри інформаційних технологій і
систем колісних та гусеничних машин
ім. О. О. Морозова

доктор технічних наук, доцент,

Кашканов Андрій Альбертович,

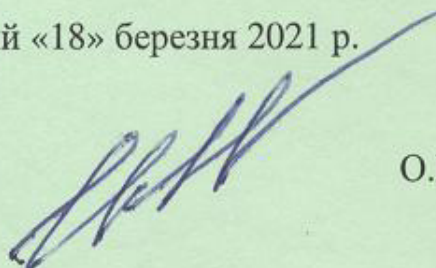
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри автомобілів та транспортного
менеджменту.

Захист відбудеться: «21» квітня 2021 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

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

Автореферат розісланий «18» березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз світової тенденції впровадження автотранспортних засобів (АТЗ) на електричній тязі дозволяє стверджувати, що найближчі 20...30 років двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) залишатимуться основним джерелом енергії для вантажного транспорту та автобусів великої місткості, які вже знаходяться в експлуатації. Для нових АТЗ ДВЗ домінуватиме принаймні 10 років. Таким чином, вдосконалення конструкції агрегатів трансмісії та систем керування ними залишається актуальною та надскладною задачею, з огляду на вимоги, які дедалі стають більш жорсткими. Крім того, раціоналізація використання технологій викопного палива та зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище є одним з пунктів програми ООН з забезпечення стійкого розвитку до 2030 року.

Світова тенденція розвитку конструкції вантажних автомобілів полягає у автоматизації роботи механічної трансмісії та наділення таких систем різноманітними інтелектуальними функціями. Ця тенденція спостерігається як на автомобілях з традиційною силовою установкою так і під час використання гібридної силової установки чи самого електричного двигуна у якості тягового. Україна, на сьогодні, має потребу як у вдосконаленні та модернізації конструкції транспортних засобів, що використовуються для потреби армії, так і для створення нових зразків автомобілів на рівні світових аналогів. Автомобільні заводи КраЗ, ЗАЗ, Богдан, Еталон мають гаму нових транспортних засобів де безперечно необхідно застосовувати автоматизовані та автоматичні системи керування трансмісією. Крім цього Вовчанський агрегатний завод, Полтавський авто-агрегатний завод мають можливість виробляти окремі елементи керування трансмісією та поставляти їх виробникам АТЗ, як в Україні, так і закордоном.

Спостерігається тенденція до спрощення керування механічною трансмісією за рахунок автоматичного керування зчепленням. Такий підхід виглядає спрощено лише на перший погляд так як потребує формування керуючих впливів на основі обмежених даних.

Розвиток таких систем в Україні потребує створення науково обґрунтованих теоретичних основ для створення нових систем керування механічною трансмісією.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у відповідності до постанови Кабінету Міністрів України №39 від 26 січня 1994 року «Про організацію виробництва міських автобусів великої місткості»; та є складовою частиною досліджень Харківського національного автомобільно-дорожнього університету:

– комплексної теми досліджень кафедри автомобілів ХНАДУ «Розробка адаптивних систем керування трансмісій транспортних машин» (№ 0108U001282);

– комплексної теми досліджень кафедри автомобілів ХНАДУ «Створення та впровадження інтелектуальної системи управління трансмісією автомобіля» (ДЗ/306-2008);

- комплексної теми досліджень кафедри автомобілів ХНАДУ «Теоретичні основи проектування інтелектуальної автоматизованої механічної трансмісії автобусів та вантажних транспортних засобів» (№0110U001167);
- комплексної теми досліджень кафедри автомобілів ХНАДУ «Теоретичні основи створення автоматизованої системи керування механічною трансмісією спеціальних та військових автомобілів» (№0117U002403);
- комплексної теми досліджень кафедри автомобілів ХНАДУ «Підвищення живучості багатовісних вантажних автомобілів військового призначення шляхом використання автоматичної трансмісії та підвищення надійності гальм» (№0119U001297).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності рушення автотransпортних засобів, покращення умов роботи водія та підвищення комфорту під час руху шляхом покращення вихідних параметрів автоматизованих та автоматичних систем керування зчепленням автотransпортних засобів категорій M_3 та N_3 .

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- сформулювати теоретичні основи систем автоматизованого та автоматичного керування зчепленням для автотransпортних засобів категорій M_3 та N_3 із ручним, напівавтоматичним або автоматичним керуванням механічною трансмісією;
- створити методологію формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням з врахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів;
- сформулювати закон керування зчепленням на основі параметричних кривих;
- запропонувати раціональний режим керування швидкістю руху автотransпортного засобу в режимі накату або гальмування двигуном;
- виконати моделювання та імітаційне дослідження динаміки рушення автотransпортного засобу, із застосуванням автоматичної системи керування зчепленням;
- розробити удосконалені конструкції структурних елементів автоматизованої та автоматичної системи керування зчепленням та виконати їх експериментальні дослідження;
- розробити удосконалені автоматизовану та автоматичну системи керування зчепленням та виконати експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження — робочий процес автоматизованого та автоматичного керування рушенням автотransпортного засобу.

Предмет дослідження — визначення шляхів покращення якості керування зчепленням автотransпортних засобів категорії N_3 та M_3 з механічною трансмісією.

Методи дослідження. Теоретичні і експериментальні дослідження, проведені в роботі, базуються на загальнонаукових методах системного аналізу проблем функціонування автоматичних та автоматизованих систем керування. Проведення імітаційного моделювання проводилося із використанням

чисельних методів вирішення систем диференційних рівнянь та складних нелінійних систем засобами середовища MATLAB Simulink®. Обробка експериментальних даних проводилася методами математичної статистики, визначення апроксимуючих поліномів, на основі експериментальних даних, проводилось методом найменших квадратів із застосуванням пакету Microsoft Excel®. При проведенні експериментальних досліджень використовувалися методи планування експерименту. Експериментальні випробування проводилися у дорожніх умовах, стендових та із використанням методу кібер-фізичних систем.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

Вперше:

- створено теоретичні основи формування закону автоматичного керування зчепленням, який відрізняється від відомих тим, що формується параметричними кривими, це дозволяє отримати гнучкий інструмент при адаптації закону керування зчепленням;

- розроблено метод обрання раціонального режиму керування швидкістю руху автотранспортного засобу, який відрізняється тим, що керуючий вплив є функцією прогнозованого шляху накату від поточної швидкості, це дозволяє уникнути зайвої витрати палива у міському циклі;

- запропоновано спосіб визначення початкової точки характеристики педалі керування з індуктивним датчиком, який відрізняється додатковим режимом роботи з шунтуванням його живлення, що сприяє підвищенню стабільності вихідних параметрів системи керування зчепленням.

Отримала подальший розвиток:

- теорія автоматизованого та автоматичного керування рушанням автотранспортного засобу за рахунок розвитку теоретичних основ систем автоматизованого та автоматичного керування зчепленням для автотранспортних засобів категорій М₃ та N₃, із ручним керуванням механічною коробкою передач, які відрізняються методологією узгодження параметрів закону керування із вихідними параметрами виконавчого пристрою керування зчепленням, це дає можливість визначати функціонал системи керування зчепленням на стадії проектування. Методологія може бути поширена на механічні трансмісії із напівавтоматичним або автоматичним керуванням коробкою передач;

- методологія формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням з врахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів, яка на відміну від існуючих включає методи врахування температурного впливу навколишнього середовища на реакцію елементів системи керування, що сприяє підвищенню стабільності вихідних параметрів системи керування зчепленням;

- методологія забезпечення характеристик індукційних датчиків переміщення, яка відрізняється від відомих врахуванням впливу варіативності характеристик компонентів системи керування зчепленням, що сприяє

підвищенню стабільності сигналу з індуктивного датчика та вихідних параметрів системи керування зчепленням;

Удосконалено:

– математичний опис сухого тертя у частині взаємодії контактуючих тіл за відсутності проковзування, який відрізняється тим, що забезпечує стабільність характеристики моменту зчеплення під дією циклічного навантаження за відсутності проковзування контактуючих тіл, що дає можливість проводити імітаційне моделювання робочих процесів зчеплення під дією циклічного крутного моменту двигуна.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційної роботи можуть використовуватися для створення нових зразків техніки із якісно новими властивостями в частині керування автомобілем, а саме виключення такої складної та подекуди обтяжливої операції, як керування зчепленням. Також результати роботи можуть бути використані при модернізації автотранспортних засобів, що вже знаходяться в експлуатації.

Запропоновані в дисертації наукові положення, розробки та рекомендації впроваджені:

– у навчальному процесі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» та при підготовці докторів філософії за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»;

– у практичній діяльності приватного акціонерного товариства «Вовчанський агрегатний завод». Використовується: методи випробування зразків продукції, що випускається під час проведення тривалих та кліматичних випробувань;

– у практичній діяльності «Запорізького автомобільного заводу». Проведені випробування з метою вивчення властивостей автобусів виробництва «ЗАЗ» із розробленою автоматизованою системою керування зчепленням;

– у практичній діяльності «Полтавський авто-агрегатний завод». Використовується методи забезпечення стабільних характеристик індуктивних датчиків положення;

– у практичній діяльності Холдингової компанії «АвтоКрАЗ». Використовується метод обрання раціонального режиму руху автотранспортного засобу на основі функціональної залежності між шляхом руху у режимі накату або гальмування двигуном та початковою швидкістю руху.

Особистий внесок здобувача. Положення та результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані автором самостійно та викладено в роботах [1-35]. Роботи [1, 2, 16, 31, 32] опубліковані без співавторів. Особистий внесок здобувача в колективних публікаціях полягає у наступному: визначено актуальний стан розвитку систем керування агрегатами трансмісії, особливості конструкції сучасного зчеплення та їх недоліки [3, 4, 5]; запропоновано функціональну схему виконавчого пристрою [5]; визначено особливості робочого процесу виконавчих пристроїв керування зчепленням різних конструкцій [6, 7]; створено експериментальну установку для дослідження

виконавчого пристрою керування зчепленням [8]; визначено параметри керуючих впливів для різних способів керування виконавчим пристроєм керування зчепленням [9, 10]; запропоновано принципи фільтрації сигналів, що надходять з датчиків системи керування зчепленням [10]; розроблено математичну модель та закон керування зчепленням у автоматичному режимі [11], розроблена функціональна схема запропонованого виконавчого пристрою керування зчепленням та його математична модель [12]; розроблено математичну модель виконавчого пристрою [13]; розроблено конструкцію виконавчого пристрою керування зчепленням з механізмом компенсації зношування фрикційних накладок [14]; виконано моделювання та налагодження ПДД-регулятора в системі керування [15]; запропоновано використання змінних коефіцієнтів в математичній моделі електродвигуна постійного струму [17]; виконано математичне моделювання робочого процесу електромеханічного приводу з кінцевою жорсткістю [18]; виконано моделювання руху автотранспортного засобу [19]; визначено вимоги до контуру електропневматичного приводу, що запобігають виникненню у людини дискомфорту за рахунок обмеження темпу зміни прискорення автотранспортного засобу [20]; розроблено математичну модель контуру електропневматичного приводу [21]; в колективній монографії [22] автору належать розділи 1, 3, 6, 8, підрозділи 2.2, 4.3, в підрозділі 2.1 розроблено математичну модель перемикачів передач; в колективній монографії [23] автору належить розділ 1 та підрозділ 2.2; проаналізовано експериментальні данні роботи виконавчого пристрою керування зчепленням [24]; виконано аналіз ефективності використання систем компенсації зношування фрикційних накладок [25]; розроблено модернізовану конструкцію електропневматичного виконавчого механізму керування зчепленням [26]; запропоновано спосіб визначення факту натисненого стану педалі керування зчепленням [27]; розроблена конструкція датчика та проведенні експериментальні дослідження характеристик [28]; проведення експериментальних дослідження та обробка даних [29]; математичне моделювання руху швидкісних автомобілів та порівняння результатів моделювання [30]; проведена ідентифікація математичної моделі елементів керування агрегатами трансмісії [33]; запропоновано принцип роботи виконавчого пристрою керування зчепленням із прискорювальним клапаном, що забезпечує розмежування динамічного та квазістатичного режимів роботи [34]; запропонована принципова схема виконавчого пристрою керування зчепленням та принцип його роботи [35].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: конгресі WCX™ World congress experience. Мічиган. Детройт. Квітень 10 – 12. 2018 року; Міжнародній конференції "Перспективи розвитку дорожньо-транспортних та інженерно-комунікаційних інфраструктур" Ташкент — 2017; Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ та 85-річчю автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника. «Новітні технології в автомобілебудуванні та на

транспорті». 15 – 16 жовтня 2015 р. м. Харків; Міжнародній науково-практичній конференції «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов» Минск, БНТУ, 2016; Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні". 15 – 18 жовтня 2019 р.; Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету. "Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування". 16-18 вересня 2020 р.; VII-міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» 23 – 24 листопада 2020 р. Харків; Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених м. Харків 25 листопада 2020 р.; 77 – 84-й науково-технічних та науково-методичних конференціях університету ХНАДУ.

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась, обговорювалась і отримала позитивну оцінку на сумісному науковому семінарі кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула, кафедри автомобільної електроніки, кафедри технології машинобудування та ремонту машин, кафедри організації та безпеки дорожнього руху, кафедри двигунів внутрішнього згоряння, кафедри деталей машин та теорії механізмів і машин, а також кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенко М. Я. (м. Харків, ХНАДУ, 21 січня 2021 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 35 наукових працях, у тому числі: 2 монографії; 21 публікація у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 16 у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 4 публікації у виданнях, що індексуються у Scopus і Web of Science і з них 2 публікації у виданнях, віднесених до квартилів Q2); 10 тез у збірниках доповідей наукових конференцій; 2 патенти на винахід.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 368 сторінок, у тому числі основного тексту 288 сторінок і 16 сторінок, площа яких повністю зайнята рисунками та таблицями. Робота ілюстрована 215 рисунками, наведено 2 таблиці. Додатки розміщені на 18 сторінках. Список використаних літературних джерел складається із 233 найменувань на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі стисло розглянуто стан питання у галузі систем керування зчепленням АТЗ категорій N_3 та M_3 , обґрунтовано актуальність роботи, наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, описано застосовані методи дослідження та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено наукову новизну та показана практична цінність одержаних результатів, надано інформацію про апробацію та публікацію результатів досліджень.

У першому розділі проаналізовано перспективи автотранспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) та визначено, що найближчі 30 років такі АТЗ будуть мати актуальність особливо в секторі комерційного транспорту. Переваги використання механічної трансмісії на вантажних автомобілях стають більш помітними у складі автотранспортних засобів із крутним моментом ДВЗ більше 1000 Н·м. Аналіз ринку легкових автомобілів показав домінуючу перевагу механічної трансмісії але із її поступовою автоматизацією. Доля механічної трансмісії, що керується вручну та автоматично керованої складає 50% та 28% відповідно. На відміну від гідромеханічної трансмісії, яка домінувала серед автоматично керованих трансмісій ще 20 років тому, механічна трансмісія має більш вигідні питомі вагові показники та коефіцієнт корисної дії (ККД) з-за відсутності гідротрансформатора. Аналіз наукової літератури дає змогу констатувати наявність великої кількості робіт з автоматизації гідромеханічної трансмісії (із гідротрансформатором). Також багато робіт з автоматизації механічної коробки передач легкових автомобілів в яких не приділено уваги процесу рушання АТЗ та керуванню зчепленням. Інформація про системи, які здатні керувати зчепленням у складі механічної трансмісії із ручним керування, існує тільки у вигляді оглядової інформації про будову та функції. Недостатність робіт щодо керування сухим фрикційним зчепленням механічної трансмісії вантажних автомобілів та автобусів дає змогу стверджувати про недостатність розвитку узагальнених теоретичних основ систем керування зчепленням АТЗ категорій N_3 та M_3 із сухим фрикційним зчепленням.

Порівняльний аналіз систем керування зчепленням із виконавчими пристроями з різними конструктивними особливостями дає змогу стверджувати, що виконавчі пристрої із прискорювальним клапаном задовольняють вимоги, як для керування зчепленням у складі автоматичної трансмісії, так і у складі трансмісії, що керується вручну. Такі апарати можуть бути універсальними для застосування в обох варіантах систем.

Дослідженнями автоматизації трансмісії АТЗ в різних аспектах свого часу займалися такі науковці як: Геккер Ф.Р.; Кусяк В.А.; Hillier, P.; Бухарин Н.А.; Гируцкий О.И.; Есеновский-Лашков Ю.К.; Поляк Д.Г.; Емельянов Е.П.; Румянцев Л.А.; Богомоллов В.О.; Клименко В.І.; Ярита О.О.; Kroll J., Hausner M., Seebacher R.; Баханович А.Г.; Рукштель О.С.; Welter R; Herrmann T; Honselmann S; Keller J; Garofalo F.; Glielmo L.; Iannelli L.; Vasca F.; Serrarens A.; Dassen M.; Steinbuch M.; Jinsung K., Seibum B. Ch.; Kiencke U.; Nielsen L.; Кретов А.В.; Есаков А.Е.; Минаев В.В.; Красневский Л.Г.; Захарик Ю.М.; Chunsheng Ni; Tongli Lu; Jianwu Zhang; Логвинов В. П.; Myklebust A.; Watson M.; Byington C.; Edwards D.; Amin S.; Bataus M.; Maciac A.; Oprean M.; Vasiliu N.; Watechagit S.; Runde, J.; Сільченко М. М.; Welter R.; Kneißler M.; Müller B.; Grethel M.; Gückler M.; Oh J.; Choi S. B.; Chang Y. J.; Eo J. S.; Jingang Ding, Xiaohong Jiao; Li L.; Wang X.; Hu X.; Chen Z.; Wang Sh.; Liu Y.; Cai T.; Dong. P.; Pietro J. Dolcini; Carlos Canudas de Wit; Hubert Béchart; Fisher; Berger; Abdullah O. I.; Schlattmann J.; Helgeland E.; Amir I. A.; Datong Q.; Zhenjun L. та інші.

Аналіз результатів теоретичних досліджень показав, що класичні закони керування зчепленням погано адаптовані до змін в експлуатації, не мають інструментів для забезпечення комфортного рушання, а деякі залишилися в теорії. Наявність часу в формулюванні закону керування суттєво ускладнює керування зчепленням.

Сучасні закони керування зчепленням мають спрямованість на формулювання аналітичного регулятора, що має багато коефіцієнтів. Параметри, які описують коефіцієнти змінюються впродовж експлуатації та у залежності від виробника автокомпонентів. Ключовим аспектом сучасного закону керування є забезпечення комфорту під час рушання та зменшення роботи буксування зчеплення. Комфорт рушання досягається збільшенням часу буксування зчеплення для формування дотичності зміни кутових швидкостей елементів зчеплення під час синхронізації їх обертання. Такий вигляд робочого процесу потребує керування подачею палива та унеможливорює використання обертальних мас ДВЗ задля підвищення динаміки рушання. Крім того такі закони не можливо використовувати при модернізації транспортних засобів, що не мають електронної системи керування двигуном. Особливістю більшості робіт з дослідження рушання АТЗ є відокремленість процесу наростання крутного моменту від процесу керування зчепленням. При цьому процес моделювання починається з часу торкання дисків зчеплення.

Імітаційне моделювання рушання АТЗ та керування зчепленням не можливе без опису тертя між його дисками. Існуючи моделі тертя можна поділити на дві категорії:

- моделі із складним описом та багатьма змінними стану (до таких моделей можна віднести еласто-пластичну модель);
- моделі з більш простим описом (модель ЛуГре та статична).

Всі моделі мають ряд особливостей, що визначають їх поле застосування. Ключовим аспектом для моделювання тертя в зчепленні є результат класичного тесту на сповзання. Його особливістю є вплив пульсуючого навантаження на контр-тіло після прикладання сили, яка спричиняє гарантований зсув тіл. Саме в таких умовах працює сухе фрикційне зчеплення автотранспортних засобів. Як можна бачити в таких умовах прості моделі тест на сповзання не витримують. Тому актуальною задачею є також удосконалення опису сухого тертя в зчепленні.

Серійні зразки систем керування зчепленням можна поділити на дві категорії:

- системи, що забезпечують автоматизацію всієї трансмісії, що є дорого, як для споживача, так і під час постановки на виробництво;
- системи, що здатні автоматизувати роботу зчеплення при використанні механічної коробки передач, яка керується вручну.

Останні системи нещодавно стали набувати поширення у конструкціях легкових автомобілів і доступна інформація щодо них складається із опису функцій, загального вигляду та схем.

У другому розділі розроблено теоретичні основи для проведення імітаційного моделювання рушання АТЗ.

Імітаційне моделювання рушання АТЗ дає змогу тестування законів та алгоритмів керування зчепленням, та оцінки їх ефективності у порівнянні з ручним керуванням.

Особливістю запропонованої імітаційної моделі є можливість задавати крутний момент двигуна, як класичним полем швидкісних характеристик, що відображають середній крутний момент, так і у вигляді періодичної функції, яка відтворює коливальний характер зміни крутного моменту навколо середнього узгоджено із зміною тактів у циліндрах ДВЗ. Для цього пропонується відповідна залежність (1). Також включення імітаційної моделі електронного блоку керування дозволяє враховувати дискретні процеси в ньому та їх вплив на керування зчепленням.

$$T_e(\varphi, \omega_e; \alpha_d) = \frac{T_e(\omega_e; \alpha_d)}{T_{e \max}} \cdot \left(k_e \cdot \left(\sin(i_c \cdot \varphi_e) + 2 \cdot \sin\left(\frac{i_c}{2} \cdot \varphi_e\right) \right) + T_{e \max} \right) \quad (1)$$

Доопрацювання статичної моделі тертя у частині взаємодії за відсутності проковзування дало змогу отримати, фактично, єдине рівняння яке складається з двох доданків. Перший враховує зміну сили тертя в зоні пружних деформацій контр-тіл, а другий зміну сили тертя при їх проковзуванні. Другий доданок класично моделює ефект Штрібека (зниження сили тертя при збільшенні швидкості проковзування). Разом із рівняннями зв'язку маємо систему (2), рішення якої найбільш наглядно можна представити у тривимірному вигляді в координатах Сила тертя – швидкість проковзування – переміщення. Запропонований опис тертя успішно проходить класичний тест на сповзання та може бути використаний для опису тертя у зчепленні АТЗ.

$$\begin{cases} T_c(\omega_r) = T_c^{\text{stat}} \cdot \tanh\left(\frac{\int \omega_r dt}{\phi_0} + k_\omega \cdot \frac{\omega_r}{\omega_s}\right) - \text{sign}\left(\frac{\omega_r}{\omega_s}\right) \cdot (T_c^{\text{stat}} - T_c^{\text{din}}) \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{|\omega_r|}{\omega_s}\right)^2}\right); \\ T_c^{\text{din}} = k_{\text{din}} \cdot T_c^{\text{stat}}; \\ \int \omega_r dt = \phi_0 \cdot \text{sign}(\int \omega_r dt) \quad \text{якщо} \quad \omega_r = 0; \\ T_c^{\text{stat}} = F_n \cdot \mu \cdot R_{\text{cp}} \cdot i, \end{cases} \quad (2)$$

де T_c^{stat} — момент тертя зчеплення у разі відсутності відносного проковзування його дисків, Н·м;

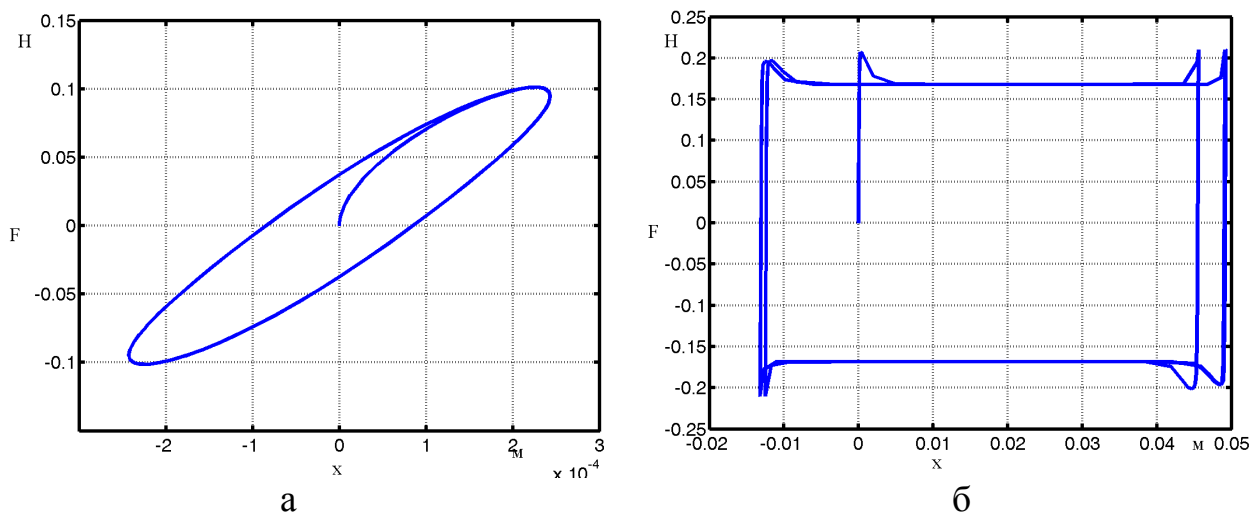
T_c^{din} — момент тертя зчеплення у разі наявності відносного проковзування його дисків, Н·м;

k_ω — коефіцієнт впливу внутрішнього тертя;

k_{din} — коефіцієнт зниження моменту зчеплення в динаміці;

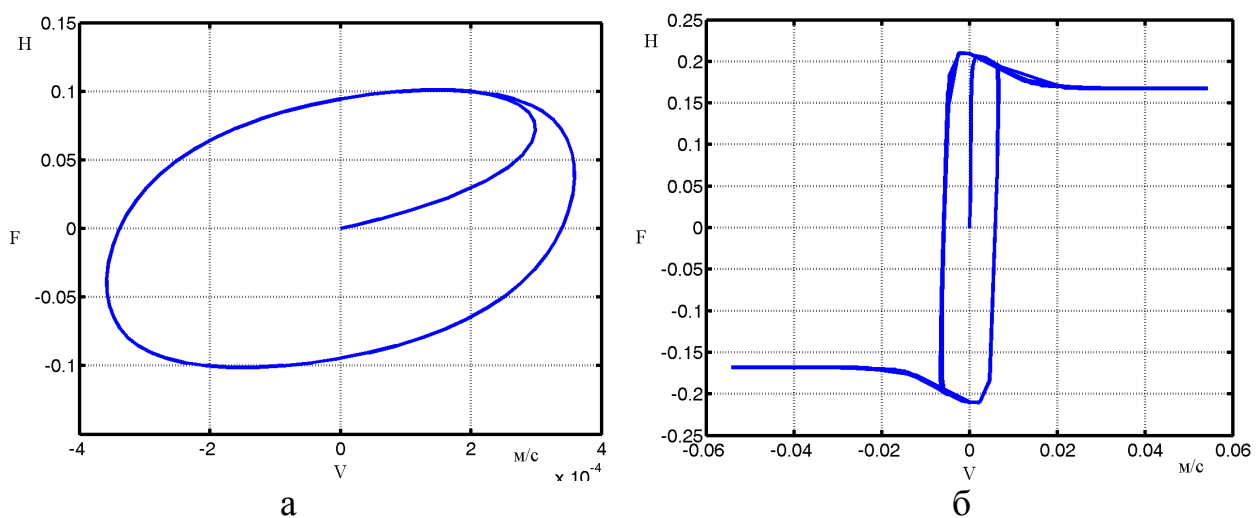
ϕ_0 — відносний кут повороту дисків зчеплення в межах якого спостерігається пружна деформація контактних пар, м;
 ω_s — відносна кутова швидкість дисків зчеплення, яка розмежовує статичний та динамічний режим тертя, s^{-1} ;
 μ — коефіцієнт тертя;
 R_{cp} — середній радіус тертя веденого диску зчеплення, м;
 i — кількість поверхонь тертя
 F_n — сила притискання дисків зчеплення, Н.

Крім тесту на сповзання модель тертя тестувалася під дією циклічного навантаження як в зоні пружних деформацій так і в зоні проковзування у залежності від переміщення (рис. 1) та швидкості проковзування (рис. 2).



а — фаза пружних деформацій, б — фаза ковзання

Рисунок 1 — Гістерезис моделі (2) при циклічному збуренні у функції відносного переміщення контактуючих тіл



а — фаза пружних деформацій, б — фаза ковзання

Рисунок 2 — Гістерезис моделі (2) при циклічному збуренні у функції відносній швидкості проковзування

При моделювання роботи зчеплення увага приділялася особливостям закріплення діафрагмової пружини, властивостям демпферу та пружним властивостям веденого диску зчеплення. Так враховувалася можливість деградації осьової характеристики веденого диску впродовж експлуатації. Моделювання робочого процесу зчеплення дозволило отримати зміну зусиль, як на муфті вимикання зчеплення, так і між дисками зчеплення. Остання характеристика є вхідним параметром моделі тертя для визначення крутного моменту після вирішення відповідного диференційного рівняння.

Теорія автомобіля та існуючі стандарти визначають залежність сили опору коченню у русі. За аналогією із описом тертя запропоновано залежність для визначення опору коченню починаючи із стану спокою. Перевагою запропонованого опису (3) є можливість врахування напрямку рушання, відновлення початкових даних при тимчасовій зупинці та коливаннях в режимі розгойдування. Доданок залежності, який описує опір у русі співпадає із залежністю, яка рекомендована у стандарті ISO 9948.

$$f_{sh} = f_s \cdot \tanh\left(\frac{\int \omega_k dt}{0,2 \cdot \phi_{0k}} + k_{\omega_k} \cdot \frac{\omega_k}{\omega_{0k}}\right) + (a \cdot (V^2 - V_{ISO}^2) + b \cdot (|V| - V_{ISO})) \cdot \tanh(V), (3)$$

де f_s — коефіцієнт опору коченню при швидкості руху V_{ISO} ;

ϕ_{0k} — половина кута, що обмежує пляму контакту шини з дорогою, рад;

ω_k — кутова швидкість обертання колеса автомобіля, s^{-1} ;

ω_{0k} — швидкість обертання колеса, нижче якої відбувається перехід до

пружної деформації навколо рівноважного стану плями контакту, s^{-1} ;

k_{ω_k} — коефіцієнт впливу внутрішнього тертя в шині;

V_{ISO} — швидкість АТЗ за вимогами стандарту ISO 9948, км/год;

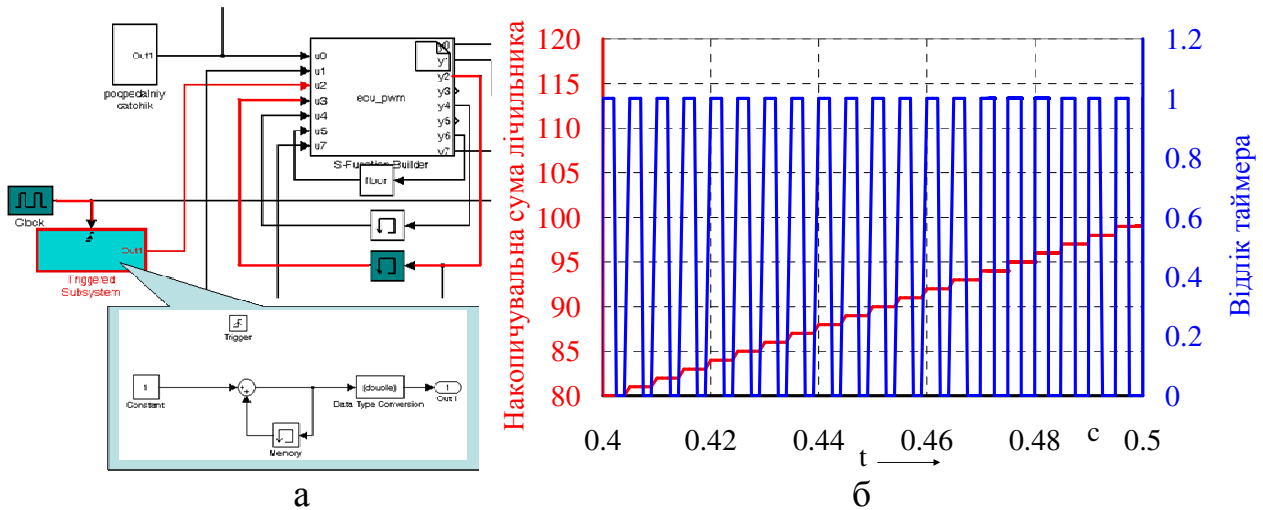
V — швидкість АТЗ, м/с.

Імітація роботи таймера дозволила забезпечити функціонування дискретної моделі електронного блоку в середовищі неперервного моделювання робочого процесу рушання АТЗ при керуванні зчепленням (рис. 3). Завдяки генератору випадкових чисел можливо формувати шуми у сигналах датчиків задля перевірки алгоритму обробки даних на завадостійкість.

Текст керуючої програми к моделі електронного блоку написаний на мові "С", що дає змогу скоротити час при перенесенні керуючої програми з моделі до реального контролеру керування зчепленням.

При моделюванні керування зчепленням використовувалася імітаційна модель виконавчого пристрою яка складається з трьох фаз:

- фаза динамічного переміщення штока виконавчого пристрою;
- і дві фази повільного переміщення штока виконавчого пристрою за характеристикою максимальної точності.



а — схема забезпечення дискретного виконання керуючої програми;
 б — загальний вигляд інтерпретації роботи таймера.
 Рисунок 3— Моделювання електронного блоку

За результатами експериментальних досліджень проводилася ідентифікація складових передавальних функцій методами оптимізації, які доступні у програмному комплексі MATLAB. Передавальні функції виконавчого пристрою керування зчепленням у фазі забезпечення максимальної точності відрізняються лише запізненням.

Таким самим шляхом визначено коефіцієнти передавальної функції (4), яка відображає вплив ноги водія на педаль акселератора (рис. 4).

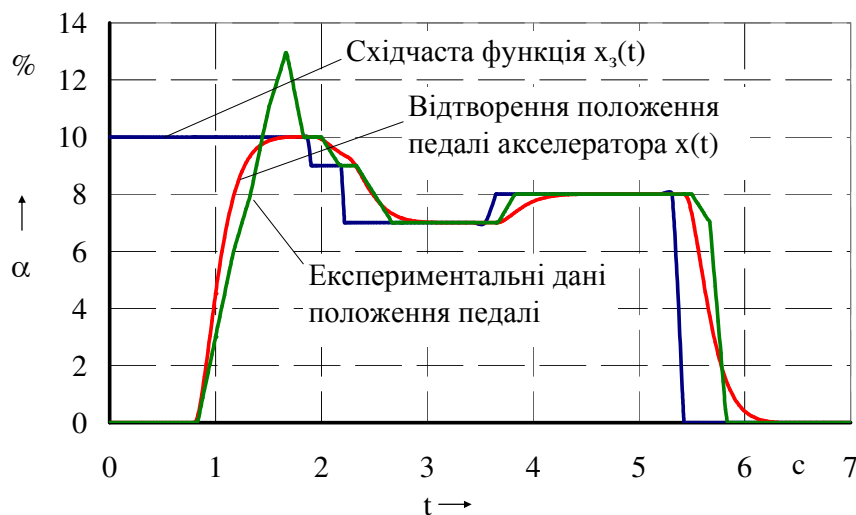


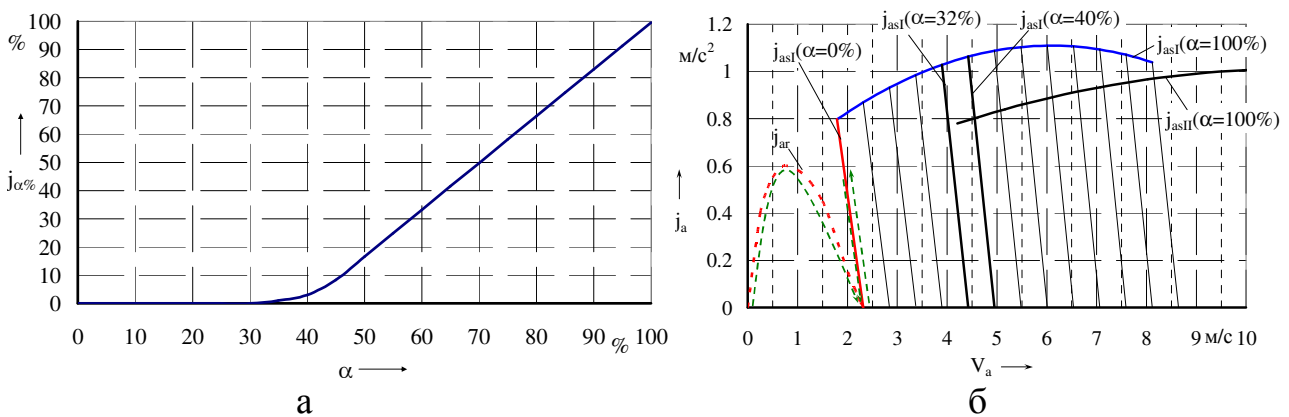
Рисунок 4 — Порівняння моделювання впливу на педаль акселератора із експериментальними даними

$$W_a(s) = \frac{0,08}{0,0015s^2 + 0,02s + 0,08} e^{-\tau s} \quad (4)$$

де τ — змінний параметр затримки.

У третьому розділі задля алгоритмізації керування зчепленням було класифіковано режими руху, що стосуються керування зчепленням та визначено можливі режими рушання, під час якого розрізняють рушання з подальшим прискоренням та рушання з виходом на сталу швидкість руху з коливальним або аперіодичним характером.

Для згаданих режимів розроблені стратегії керування зчепленням у відповідності із параметрами робочого процесу та сигналів датчиків. Так розрізняння режимів руху після синхронізації кутових швидкостей дисків зчеплення здійснюється за положенням педалі акселератора. У відповідності із математичними залежностями визначено межу положення педалі акселератора, за якої можливе перемикання на наступну передачу після рушання АТЗ, що відображено на графіках (рис. 5).



а — залежність бажаного прискорення від положення педалі акселератора; б — формування зони положення акселератора в якій необхідно рухатися прискорено після рушання

Рисунок 5 — Залежність бажаного прискорення від положення педалі акселератора

Ключовим аспектом рушання із використанням енергії махової маси ДВЗ є забезпечення зниження кутової швидкості його колінчастого валу впродовж робочого процесу синхронізації обертання дисків зчеплення (рис. 6 а). Забезпеченню комфорту, за рахунок відсутності ривків, сприяє дотичність кривих, що характеризують зміну кутових швидкостей дисків зчеплення.

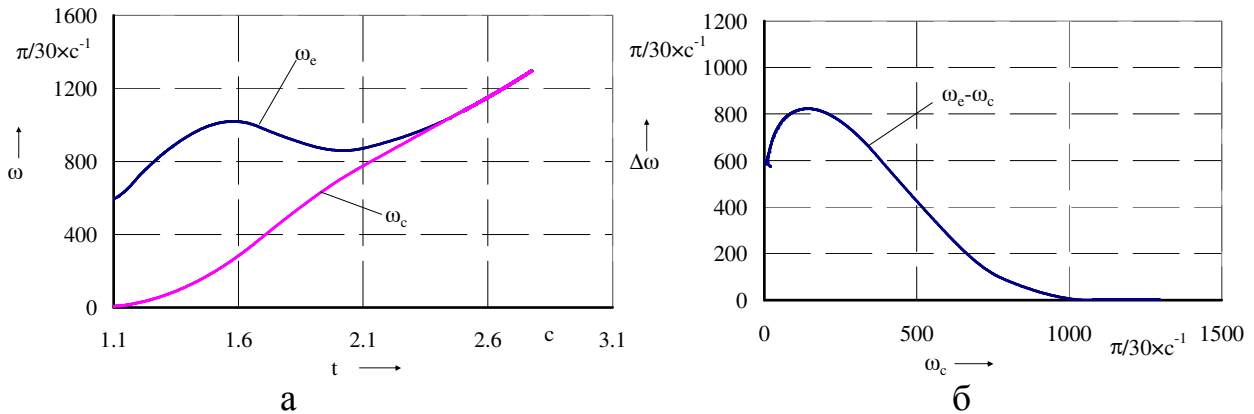
Згідно із законом, керування моментом зчеплення відбувається за рахунок лише положення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням (5). Положення педалі акселератора та кутові швидкості ведених та ведучих частин зчеплення є визначальними параметрами для вихідної величини. Факт використання будь якого гальма формується інтегральним параметром Z . Дезактивованій стан всіх гальмових систем є стартовим сигналом для початку рушання.

Для незалежності від часу протікання динамічних процесів пропонується виключити час із формування закону керування та представити процес рушання у вигляді функції, що визначає залежність різниці кутових швидкостей

обертання дисків зчеплення від аналогу швидкості руху АТЗ, яким обрано кутову швидкість веденого диску зчеплення (рис. 6 б).

$$S = f(Z, \alpha_d, \omega_e, \omega_c) \quad (5)$$

де S — положення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням, %;
 Z — комплексний сигнал про використання будь якого гальма забезпечує вимкнений стан зчеплення.



а — типовий робочий процес під час рушання АТЗ $\omega = f(t)$; б — відображення робочого процесу рушання із виключеним часом $\Delta\omega = f(\omega_c)$

Рисунок 6 — Типовий процес зміни кутових швидкостей впродовж буксування зчеплення при плавному замиканні дисків зчеплення

Характерну залежність, із її ключовими аспектами, пропонується відтворити за допомогою кривої Безьє, яку задано у параметричному вигляді (6) та (9).

$$R(t) = \sum_{i=0}^m B_i^m(t) \cdot P_i \quad (6)$$

де $B_i^m(t)$ — базисна функція кривої Безьє, яка визначається за формулою (7);

t — параметр, що змінюється у діапазоні від 0 до 1 ($t \in [0; 1]$);

$P_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}$ — координати i -тої точки;

m — ступінь кривої Безьє.

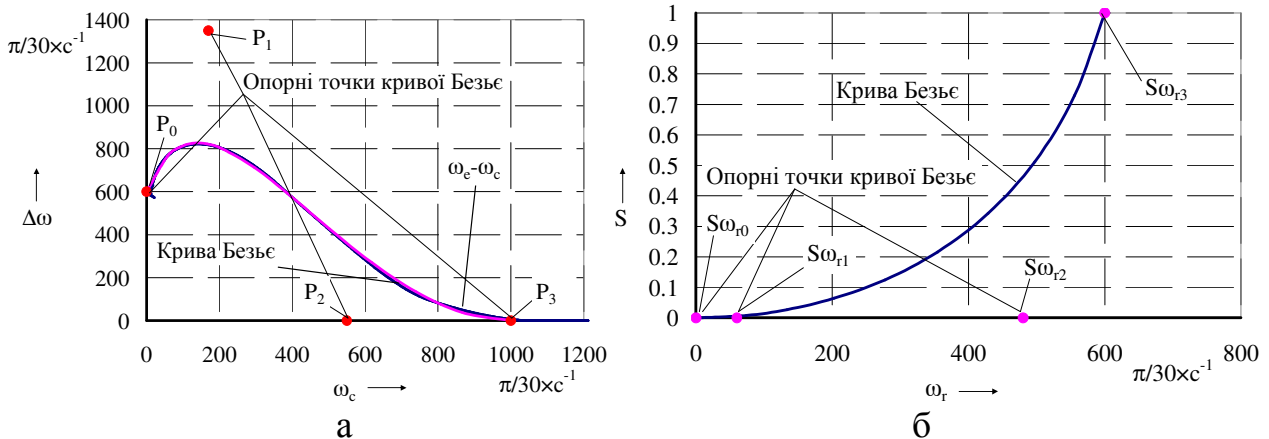
$$B_i^m(t) = C_m^i \cdot t^i \cdot (1-t)^{m-i} \quad (7)$$

де C_m^i — параметр, який визначається за формулою (8).

$$C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!} \quad (8)$$

$$R(t) = (1-t)^3 \cdot P_0 + 3 \cdot t \cdot (1-t)^2 \cdot P_1 + 3 \cdot t^2 \cdot (1-t) \cdot P_2 + t^3 \cdot P_3. \quad (9)$$

Така крива однозначно визначається всього чотирма точками (рис. 7 а), а для зміни її форми при адаптації достатньо змінити всього дві точки або дві координати з восьми. Такий підхід суттєво гнучкіший за визначення кривої поліномом, оскільки при його адаптації довелося би змінити 6 коефіцієнтів, до того ж якість дотичності, як аспекту закону керування, не гарантується. Залежність, яка визначає положення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням також представимо у вигляді кривої Безьє (рис. 7 б).



а — направляюча крива закону; б — формуюча крива закону

Рисунок 7 — Формування закону керування зчепленням кривими Безьє

Разом обидві криві Безьє формують закон керування зчепленням у тривимірному вигляді (рис. 8).

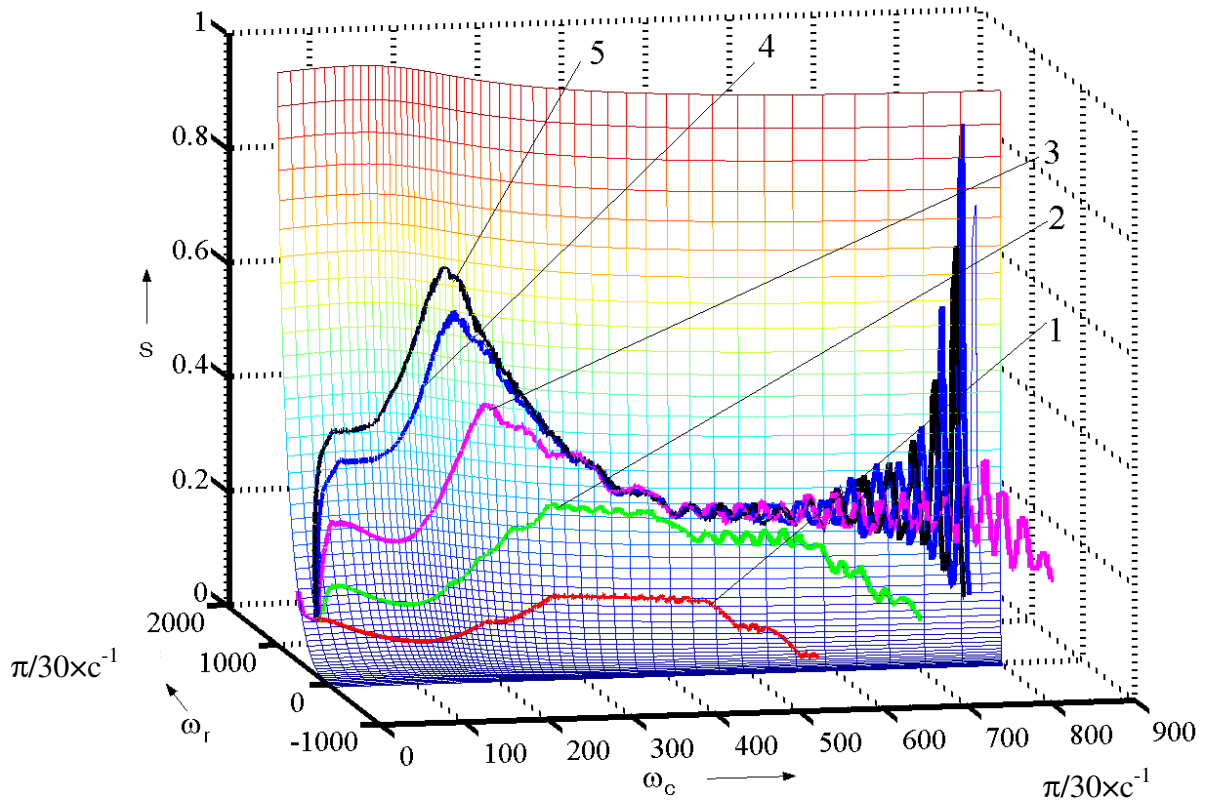
Під час рушання АТЗ криві, що характеризують робочий процес належать поверхні закону (рис. 8). Запропонований закон дозволяє наприкінці процесу синхронізації кутових швидкостей дисків зчеплення зменшувати крутний момент зчеплення за рахунок переміщення штоку виконавчого пристрою у бік вимикання зчеплення. Це дозволяє збільшувати кутову швидкість ведучих частин зчеплення та сприяє зменшенню ривків при блокуванні зчеплення.

Повне вмикання зчеплення відбувається за спеціально розробленим алгоритмом шляхом примусового збільшення значення вихідного параметру закону керування за рахунок деформації кривої Безьє після синхронізації кутових швидкостей дисків зчеплення.

Розроблено ключові аспекти вимикання зчеплення (10), (11), (12) які:

- запобігають заглоханням ДВЗ;
- забезпечують вимикання зчеплення при необхідності здійснити перемикання передачі.

$$S = \begin{cases} 0 & \text{якщо } \frac{d\alpha_d}{dt} > [\dot{\alpha}_d] \wedge \alpha_d = 0\% ; \\ \text{інакше} & S = f(|\omega_r|); \end{cases} \quad (10)$$



1, 2, 3, 4, 5 — положення педалі акселератора відповідно 0 %, 10 %, 20 %, 30 % та 50 %

Рисунок 8 — Закон керування зчепленням з нанесеними лініями робочого процесу рушення АТЗ

$$S = \begin{cases} 0 & \text{якщо } \omega_e \leq [\omega_e] \wedge \frac{d\omega_e}{dt} \geq [\dot{\omega}_e] \vee \omega_e < [\omega_{e \min}]; \\ \text{інакше } S = f(|\omega_r|); \end{cases} \quad (11)$$

$$S = \begin{cases} S_{i-1} & \text{якщо } Z > 0\% \wedge \omega_v < \omega_{v \min}; \\ \text{інакше } S_i, \end{cases} \quad (12)$$

де $[\dot{\alpha}_d]$ — допустима швидкість переміщення педалі акселератора $\%/c$;

$[\omega_e]$ — допустима стійка кутова швидкість колінчастого валу двигуна, c^{-1} ;

$[\dot{\omega}_e]$ — допустиме значення кутового прискорення колінчастого валу двигуна, c^{-2} ;

$[\omega_{e \min}]$ — мінімальна допустима кутова швидкість колінчастого валу двигуна, c^{-1} ;

S_i — положення штока виконавчого пристрою керування зчепленням на поточному циклі, виражене в долях;

S_{i-1} — положення штока виконавчого пристрою керування зчепленням на попередньому циклі, виражене в долях;

$\omega_{v \min}$ — кутова швидкість, що пропорційна мінімально стійкій лінійній швидкості автотранспортного засобу, c^{-1} .

У четвертому розділі задля забезпечення стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням при зміні внутрішніх та зовнішніх факторів були проведені експериментальні дослідження, щодо їх впливу на систему керування зчепленням.

Під час випробування автоматизованої системи керування зчепленням у кліматичній камері “Вовчанського агрегатного заводу” спостерігалася некоректна її робота, що проявлялася у самовільному переміщенні штоку виконавчого пристрою керування зчепленням при нерухомій педалі зчеплення (рис. 9). Для виявлення причин цього явища були проведені додаткові випробування компонентів системи керування зчепленням в спеціально сконструйованих кліматичних камерах.

В якості датчика положення педалі зчеплення використовувався індукційний датчик. Такий датчик має всього два дроти для передачі сигналу, електронний блок отримує сигнал одразу в цифровому вигляді, датчик безконтактний.

Експериментальні дослідження індукційного датчика показали, що вплив температури навколишнього середовища на характеристику датчика не корелюється із величиною переміщення штока, що отримано під час випробування системи керування. Крім того характер переміщення штока не співпадає з характером зміни характеристики індукційного датчика під впливом температури.

Задля виявлення причин зазначеного явища було проаналізовано схему вимірювання даних індукційного датчика положення педалі зчеплення, яка знаходиться на платі електронного блоку. Ключовим компонентом схеми вимірювання є конденсатор, що задає частоту вільних коливань в контурі датчика.

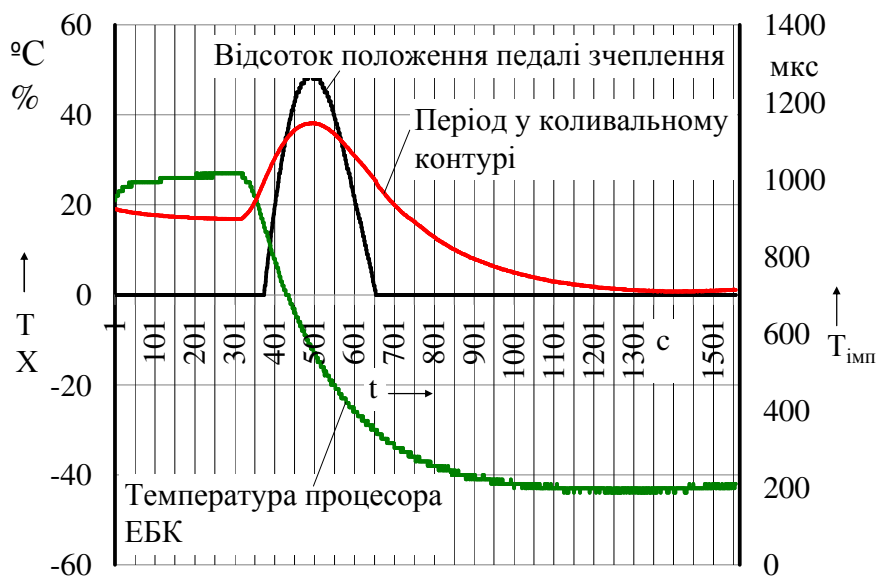


Рисунок 9 — Процес зміни показань датчика положення педалі зчеплення у діапазоні температур +15... -30 °C при нерухомій педалі

Для прийнятого типу монтажу, на плату електронного блоку, є можливість вибрати один з трьох варіантів конденсаторів:

- з діелектриком Y5V;
- з діелектриком X7R;
- з діелектриком NP0.

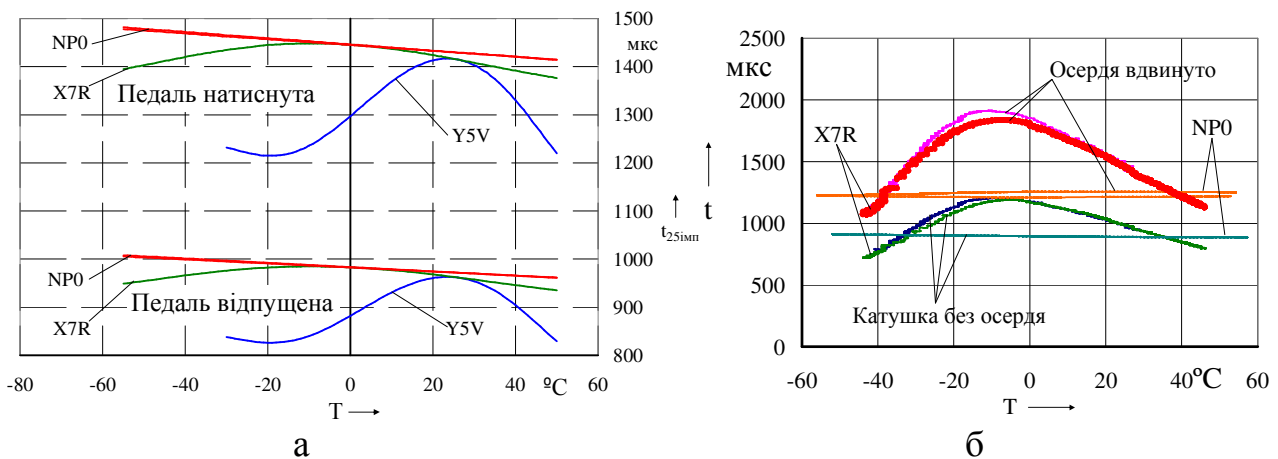
Кожен з них має відповідні властивості щодо зміни ємності під впливом температур, часу експлуатації та температурного діапазону.

Відповідно до робочого температурного діапазону підходять конденсатори з діелектриком X7R та NP0 (рис. 10 а), останній в декілька разів дорожче.

Дослідження в кліматичній камері системи керування зчепленням дало пояснення природі виявленого ефекту некоректної роботи системи.

Відповідно до даних виробника характеристика конденсатора впливає на період коливальних у контурі, а саме цей параметр вимірюється для визначення положення педалі зчеплення (рис. 10 б). Зміна цього параметру для конденсатора із діелектриком X7R призводить до зміни даних, які надходять до електронного блоку керування, у відповідності за характером та значеннями які викликали переміщення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням під час її некоректної роботи впродовж експериментальних досліджень (рис. 9).

Конденсатор із діелектриком NP0 має значно кращу характеристику але, відповідно до даних виробника, відхилення його характеристики в межах зазначеного діапазону не передбачуване у різних компонентів.



а — співвідношення між вимірюваними сигналами датчика положення педалі при застосуванні різних типів конденсаторів у схемі вимірювання (розрахунок)
 б — час періоду вхідного сигналу від датчика положення педалі зчеплення при крайніх положеннях осердя в залежності від температури датчика, дротів та електронного блоку (експеримент)

Рисунок 10 — Вплив температури на данні індуктивного датчика

Забезпечення стабільності даних, що вимірюються на індуктивному датчику можливо за рахунок представлення температурної характеристики системи вимірювання індукційного датчика у вигляді матриці даних в залежності від температури (13). Для гарантованого визначення початкового

положення та положення повністю натисненої педалі граничні криві мають еквидистантний зсув відносно реальних у крайніх положеннях (рис. 11 а). Такий спосіб визначення положення педалі дає змогу отримати стабільну передавальну характеристику педалі за чутливістю x/h , що характеризує зміну відсотку заданого сигналу до переміщення педалі в мм (рис. 11 б).

$$\begin{pmatrix} T_i & t_i^{100\%} & t_i^{0\%} & G_i^{100\%} & G_i^{0\%} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_i & t_i^{100\%} & t_i^{0\%} & G_i^{100\%} & G_i^{0\%} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

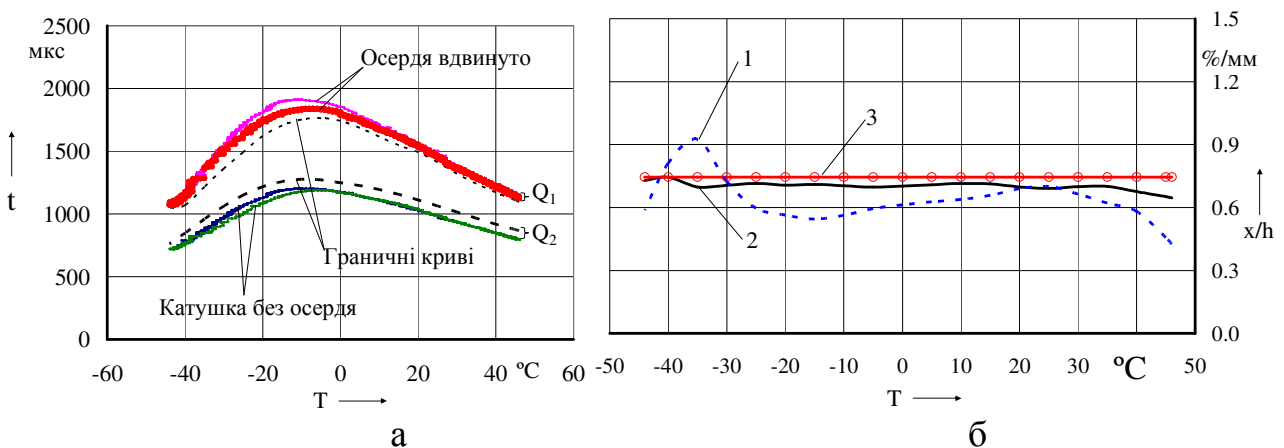
де T_i — температура мікропроцесора, °С;

$t_i^{100\%}$ — період коливань струму у колі датчика при повністю натиснутої педалі, мкс;

$t_i^{0\%}$ — період коливань струму у колі датчика при відпущеної педалі, мкс;

$G_i^{100\%}$ — гранична крива при повністю натиснутої педалі, мкс;

$G_i^{0\%}$ — гранична крива при відпущеній педалі, мкс.



а — формування граничних кривих для тарування індуктивного датчика положення педалі; б — передавальні характеристики датчика положення педалі зчеплення із змінними коефіцієнтами еквидистантного зсуву Q_1 та Q_2
1, 2 — передавальні характеристики датчика, граничні криві якого сформовані з використанням поліноміальної апроксимації; 3 — передавальна характеристика датчика, граничні криві якого сформовані таблицею експериментальних даних із зсувом, що пропорційний його фізичному діапазону у даних температурних умовах.

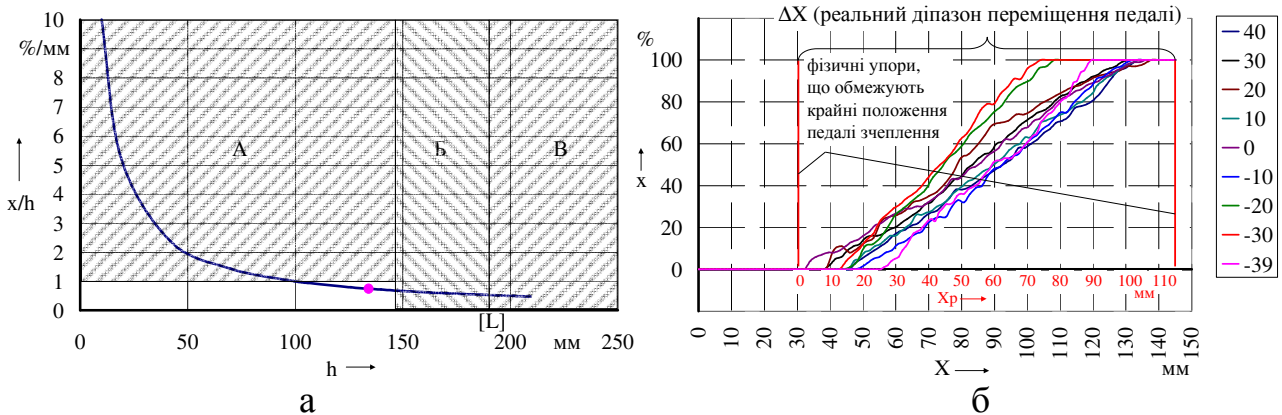
Рисунок 11 — Забезпечення стабільних вимірюваних даних індуктивного датчика із конденсатором у схемі вимірювання, що має діелектрик X7R

Відповідно до наведеної залежності передавальної характеристики від робочого ходу педалі (рис. 12 а) можна стверджувати, що для отримання припустимої точності визначення положення педалі зчеплення її робочий хід повинен знаходитися у межах від 100 мм до 145 мм.

Дослідження властивостей датчика положення педалі зчеплення у широкому діапазоні температур дозволило побудувати передавальну характеристику педалі зчеплення із індуктивним датчиком для кіл вимірювання із конденсаторами з різним типом діелектриків (рис. 12 б) та (рис. 13).

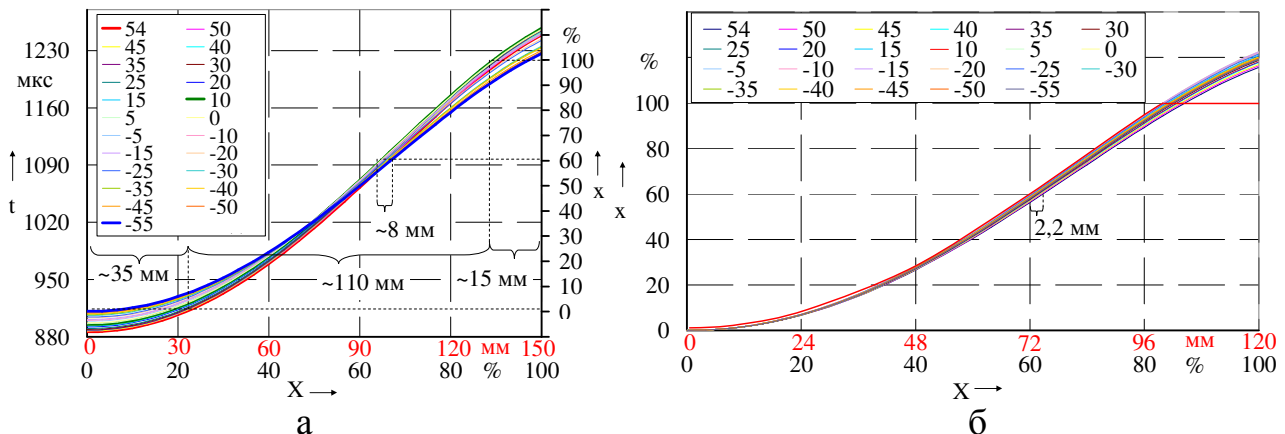
Крім того визначено, що для осердя, яке має сферичний торець лінійність характеристик краща на 30% – 50%.

Так для діелектрика X7R дрейф точки положення педалі зчеплення при якому відбувається торкання дисків зчеплення та розпочинається рушання автотранспортного засобу, складає 20 мм (рис. 12 б).



а — зміна передавальної характеристики датчика положення педалі в залежності від його робочого ходу; б — сукупність реальних характеристик датчика положення педалі зчеплення у діапазоні температур —40...+40°C

Рисунок 12 — Визначення реальних передавальних характеристик педалі зчеплення із індуктивним датчиком положення

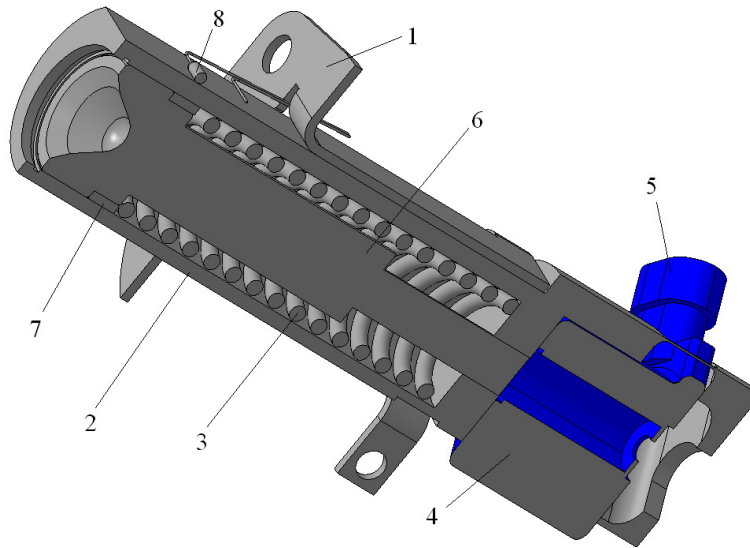


а — характеристика датчика положення педалі для конденсатора з діелектриком NPO; б — характеристика датчика положення педалі для конденсатора з діелектриком NPO та калібруванням у початковому положенні

Рисунок 13 — Характеристики датчика положення педалі

Для діелектрика NPO дрейф цієї точки складає 8 мм (рис. 13 а). А для діелектрика NPO з визначенням початкової точки характеристики педалі керування з індуктивним датчиком, дозволяє зменшити дрейф до 2,2 мм (рис. 13 б), що 3,6 рази менше за початковий варіант (рис. 12 б). Визначення

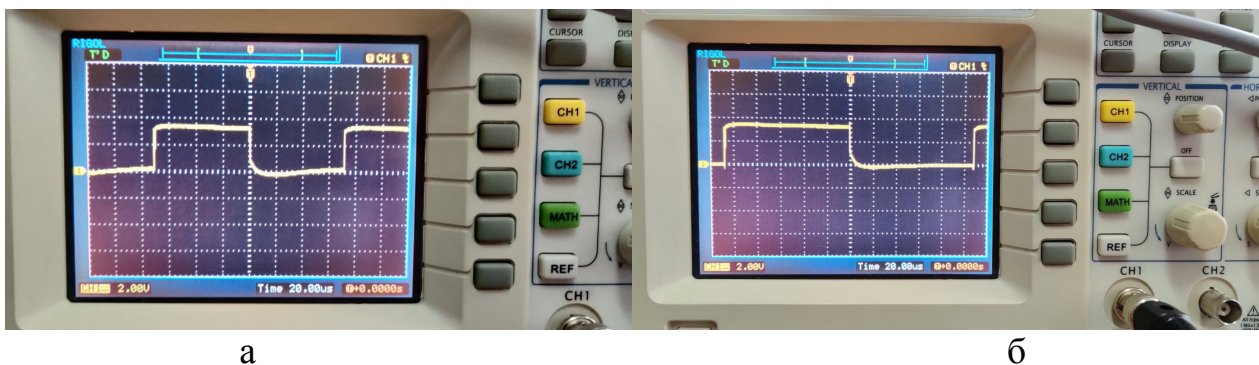
начального положення педалі можливе за рахунок додавання в конструкцію індуктивного датчика геркону з постійним магнітом на осерді, що забезпечує шунтування живлення (рис. 14).



1 — кронштейн датчика; 2 — корпус; 3 — зворотна пружина; 4 — котушка індуктивності; 5 — контакти котушки; 6 — осердя датчика; 7 — кільцевий магніт; 8 — геркон

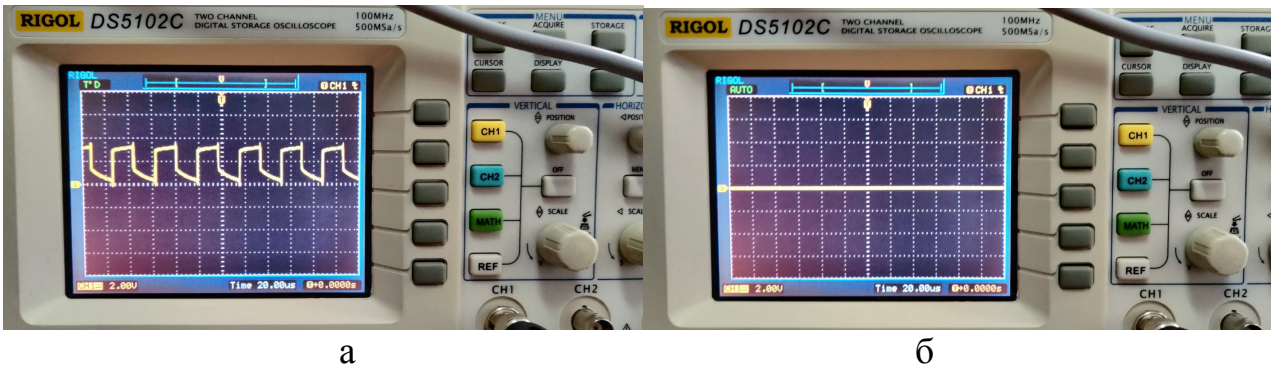
Рисунок 14 — Варіант конструктивного виконання індуктивного датчика

На відміну від робочого стану, при якому вимірюється положення педалі (рис. 15), шунтування живлення у повністю відпущеному стані педалі забезпечує різке зменшення періоду коливань в контурі вимірювання (рис. 16 а), що є сигналом для ідентифікації початкового положення педалі зчеплення. При відключенні датчика чи обриві дротів коливання в контурі відсутні (рис. 16 б), що є додатковим діагностичним параметром системи. Завдяки постійному таруванню індуктивного датчика повторюваність характеристики датчика положення педалі не залежить від повторюваності характеристик конденсатора.



а — котушка без осердя; б — осердя повністю вставлено в котушку

Рисунок 15 — Коливання струму при вимірюванні положення осердя всередині котушки

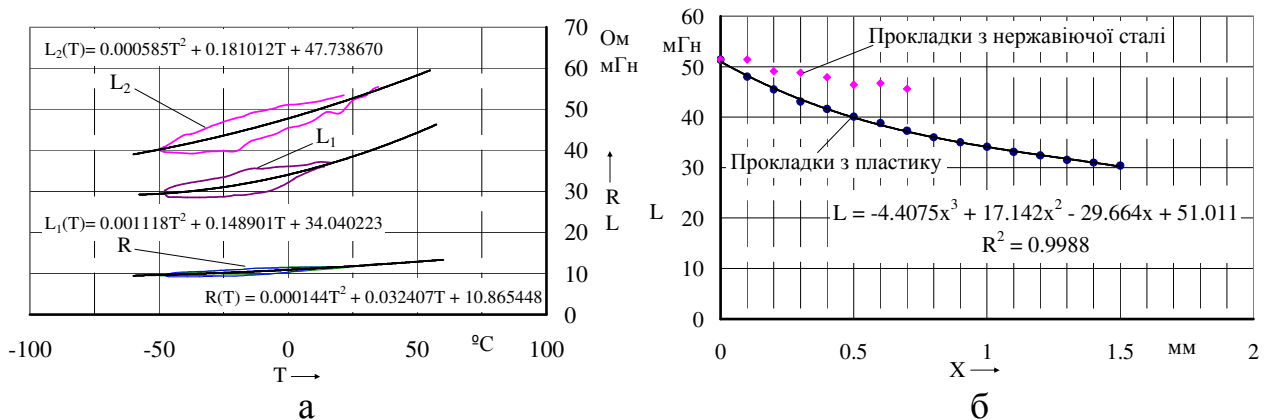


а — коротке замикання контактів котушки; б — обрив кола або відключений контакт

Рисунок 16 — Коливання струму при ідентифікації спеціальних режимів роботи датчика

Температурний дрейф сигналів, що проходять через аналогово-цифровий перетворювач електронного блоку керування не перевищує 8 % в межах температур $-45\text{ }^{\circ}\text{C} - +30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На стабільність вихідних параметрів системи керування впливає не тільки робота датчиків, а й керуючих елементів виконавчого пристрою. Тому роботу електромагнітного клапану також було досліджено в широкому діапазоні температур (рис. 17).



а — залежність основних параметрів електромагніту від температури; б — залежність індуктивності котушки електромагніту, у спрацьованому стані, від зазору між упором та осердям (температура навколишнього середовища 18°C); R — опір котушки електромагніта, Ом; L_1 — індуктивність котушки електромагніта з осердям, що не доходить до упору на 1 мм (приблизно відповідає закритому стану електромагнітного клапану), мГн; L_2 — індуктивність котушки електромагніту з осердям, що упирається в упор (відповідає відкритому стану електромагнітного клапану), мГн.

Рисунок 17 — Визначення даних для удосконалення моделі електромагнітного клапану

Удосконалено математичну модель (14) електромагнітного клапану в частині врахування впливу температури навколишнього середовища на

індуктивність обмотки та деяких внутрішніх параметрів системи керування на його вихідні параметри.

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{dL(x)}{dx} \cdot i^2 - P_{np}(x) - P_{fr}}{m} \\ \frac{di}{dt} = \frac{U(t) - R(T) \cdot i - i \cdot \frac{dL(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}}{L(T, x)} \end{cases} \quad (14)$$

де x — переміщення осердя електромагніта, м;

i — сила струму в обмотці електромагніту, А;

$U(t)$ — напруга, як функція від часу, яка відповідає сигналу з ЕБК, В;

$L(T, x)$ — індуктивність, як функція від температури та положення осердя електромагнітного клапана, Гн;

$L(x)$ — індуктивність, як функція від положення осердя електромагнітного клапана, Гн;

$R(T)$ — опір котушки електромагніту, як функція від температури навколишнього середовища, Ом;

P_{fr} — сила тертя, Н.

На основі експериментальних даних було побудовано поверхні відгуку, які відбивають залежність індуктивності (рис. 18) та її похідної від температури навколишнього середовища та положення осердя.

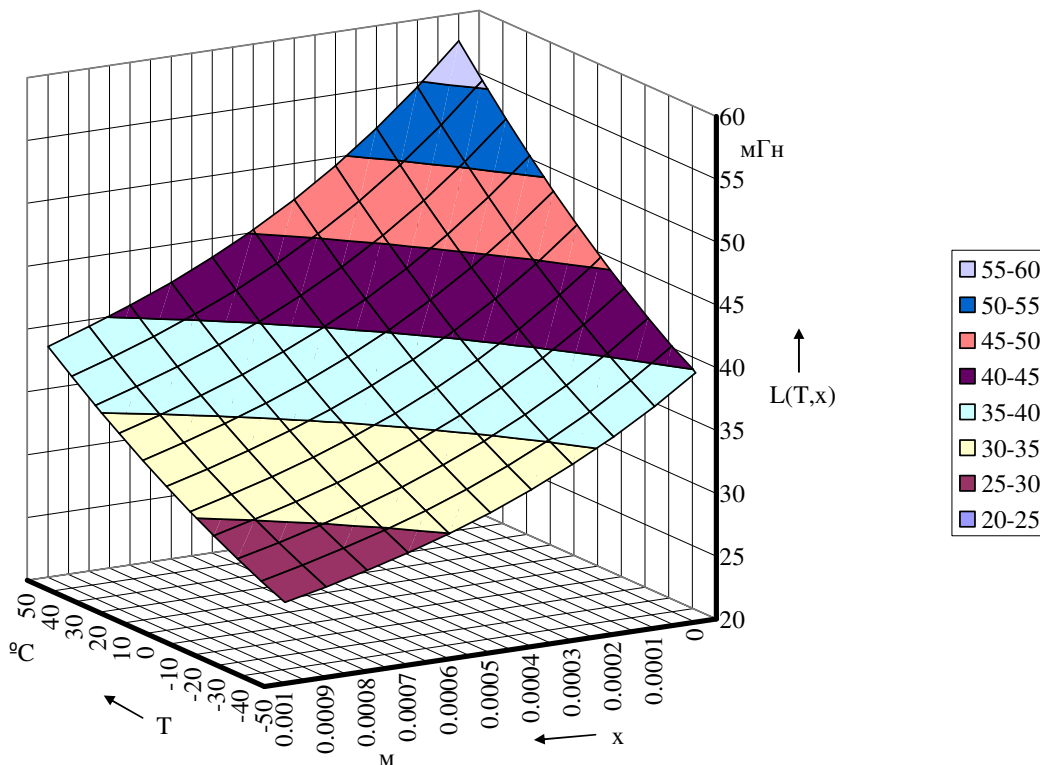
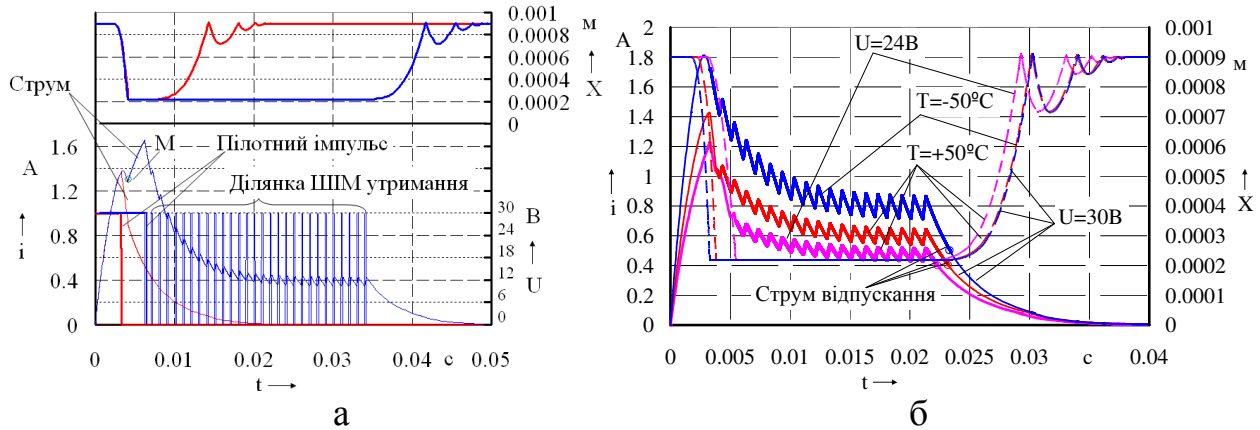


Рисунок 18 — Поверхня відгуку функції $L(T, x)$

Імітаційне моделювання роботи електромагнітного клапану дало змогу встановити зміну його вихідних параметрів при впливі температури навколишнього середовища, напруги живлення та перепаду тиску на клапані. В якості вихідного параметру було обрано час-перетин клапану. В якості його аналогу, для більш наочного представлення результатів моделювання обрано час відкритого стану клапана.

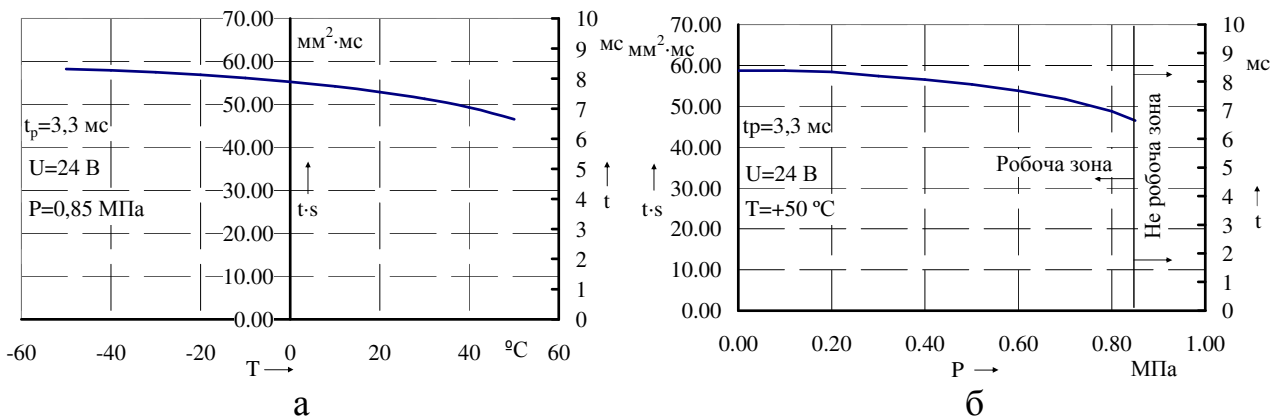
Найбільший інтерес з точки зору якості роботи системи керування зчепленням є моделювання одиночного імпульсу (рис.19 а), що забезпечує мінімально можливу ступінь переміщення штоку керуючого пристрою керування зчепленням.



а — порівняння імпульсів керування електромагнітним клапаном; б — зміна характеристик робочого процесу електропневматичного клапану за різних температурних умов та напруги живлення

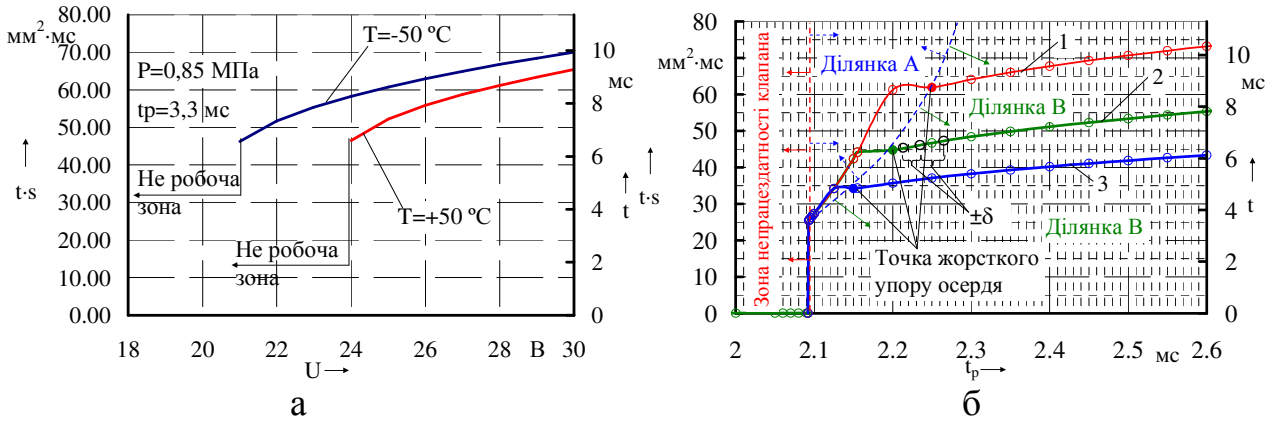
Рисунок 19 — Дослідження робочого процесу електромагнітного клапану

Було виявлено характер зміни вихідного параметру електромагнітного клапану та його неробочі зони при подачі одиночного імпульсу фіксованої тривалості (рис. 20) та (рис. 21).



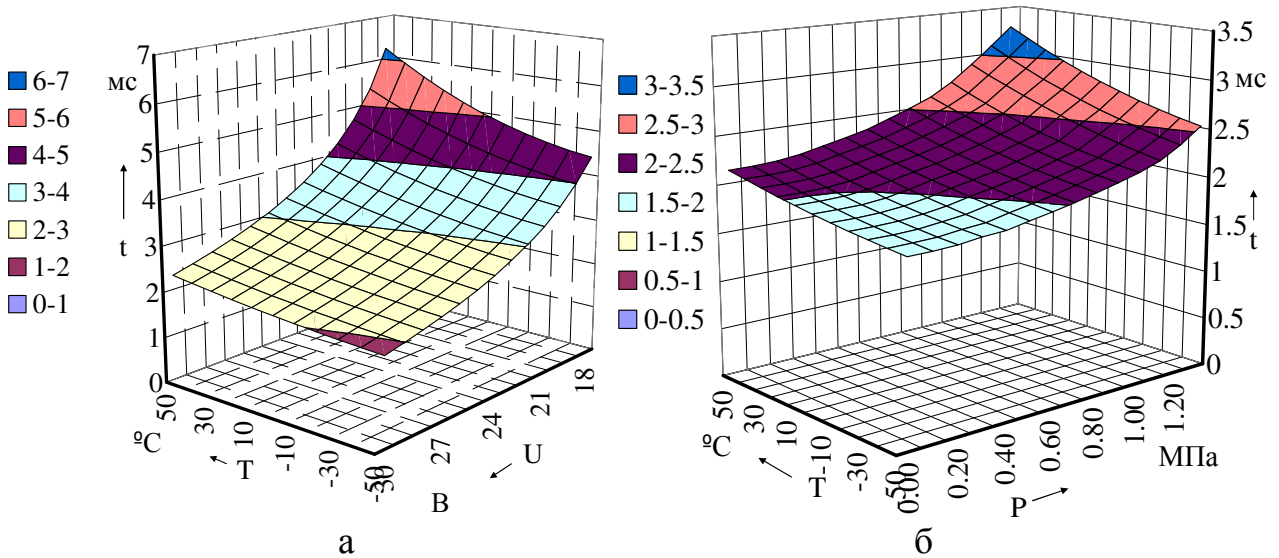
а — зміна часу-перерізу клапану та орієнтовного часу його відкритого стану за різної температури навколишнього середовища; б — зміна часу-перерізу клапану та орієнтовного часу його відкритого стану під дією різного тиску на осердя

Рисунок 20 — Вплив різних факторів на вихідний параметр електромагнітного клапану



а — зміна часу-перерізу клапану та орієнтовного часу його відкритого стану при подачі різної напруги живлення за різних температурних умов; б — вихідні параметри електропневматичного клапану з поділенням на зони динамічного стану; 1 — хід осердя електромагніту не обмежено; 2 — хід осердя електромагніту обмежено діелектричною вставкою на 0,22 мм; 3 — хід осердя електромагніту обмежено діелектричною вставкою на 0,33 мм
 Рисунок 21 — Вплив різних факторів на вихідний параметр електромагнітного клапану

По результатах обробки даних побудовано поверхні, що відображають необхідну зміну тривалості одиночного (так званого пілотного) імпульсу для забезпечення стабільного вихідного параметру (часу перетину клапану) (рис. 22). Шляхом поєднання імітаційного моделювання та експериментальних досліджень було обрано найбільш раціональну характеристику електромагнітного клапану для забезпечення керування виконавчим пристроєм. Необхідні показники індуктивності котушки клапану були досягнуті шляхом формування начального зазору між торцем осердя та упором величиною 0,2 мм (рис. 21 б).



а — корегування тривалості пілотного імпульсу від впливу температури та напруги живлення; б — корегування тривалості пілотного імпульсу від температури та перепаду тиску на клапані
 Рисунок 22 — Поверхні відгуку для корегування тривалості пілотного імпульсу

Запропоновано визначати тиск у циліндрі виконавчого пристрою за ходом його штока. Для цього формуються матриці, що забезпечують мікроконтролер інформацією про перепад тиску на випускному (15) та впускному (16) електромагнітному клапані. Похибка визначення перепаду тиску за таким методом не перевищує 0,17 МПа (рис. 23 а), а похибка встановлення пілотного імпульсу не перевищує 0,06 мс (рис. 23 б), що складає 2 % від тривалості середнього пілотного імпульсу.

$$\begin{Bmatrix} P2_i & P2_{i+1} & P2_m \\ X_i & X_{i+1} & X_m \end{Bmatrix}, \quad (15)$$

де $P2$ — тиск у порожнині випускного клапана, МПа.;

X — положення штоку виконавчого пристрою, мм;

i — номер елемента матриці;

m — кількість елементів векторів, що складають матрицю.

$$\begin{Bmatrix} X_i & X_{i+1} & X_m \\ P0 - P2_i & P0 - P2_{i+1} & P0 - P2_m \end{Bmatrix}, \quad (16)$$

де $P0$ — тиск у живлячій магістралі виконавчого пристрою, МПа.

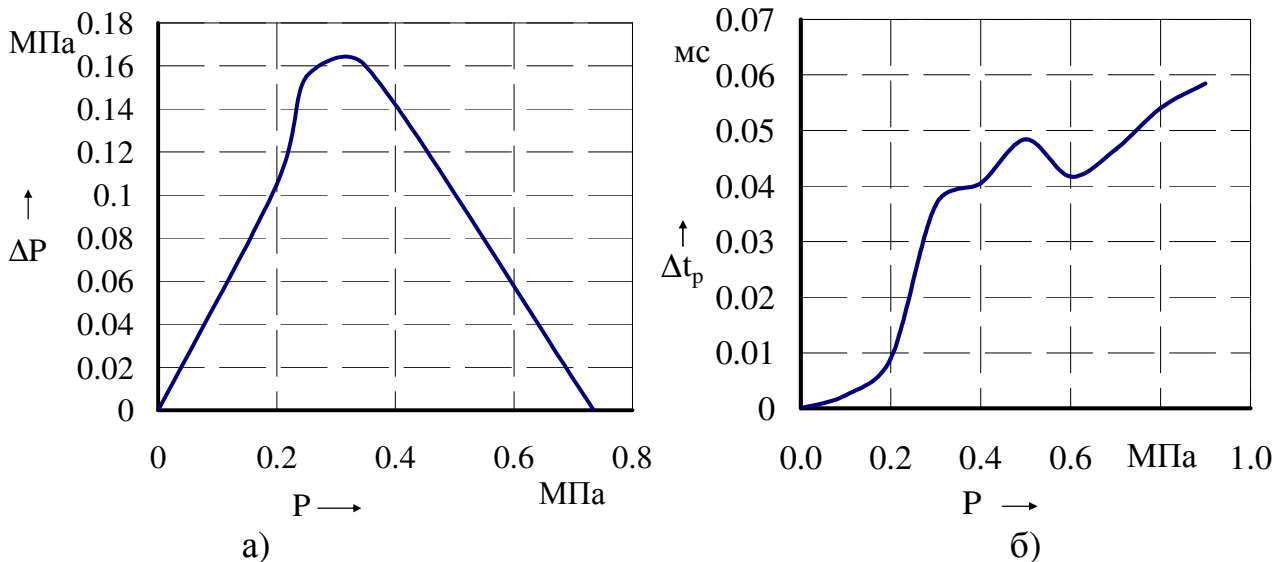
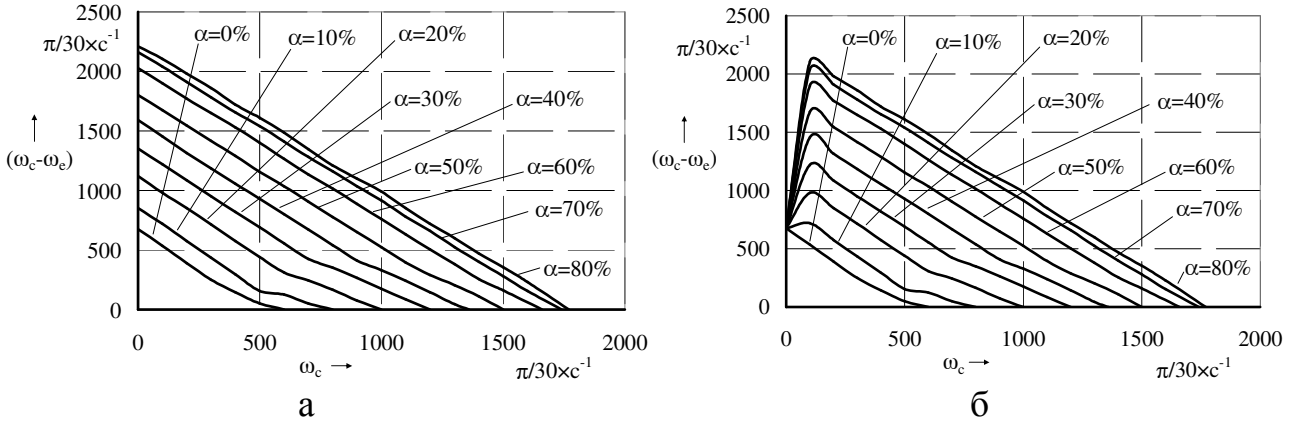


Рисунок 23 — Похибки у визначенні тиску за зворотною гілкою статичної характеристики та у встановленні тривалості пілотного імпульсу на прямій гілці

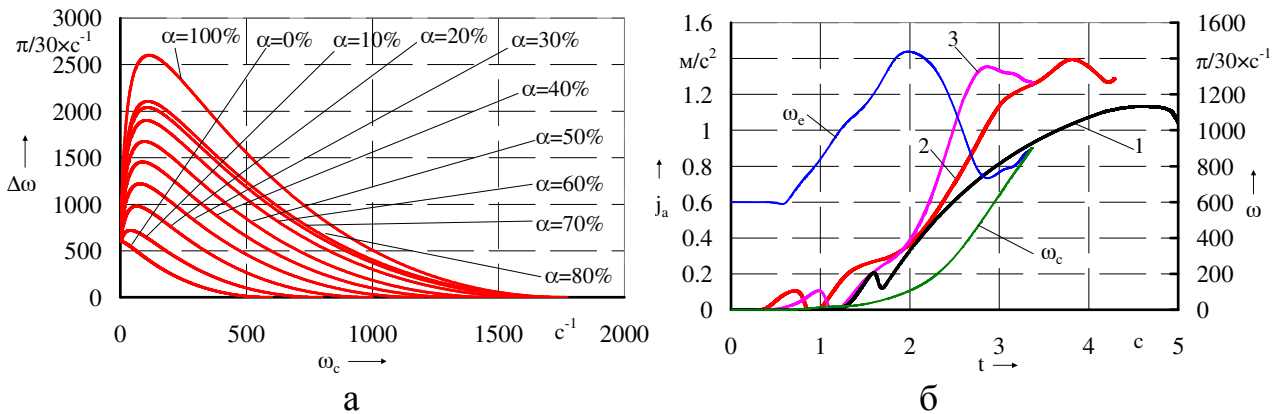
У п'ятому розділі, відповідно до стратегії рушання АТЗ можливо забезпечити рушання за умови підтримки постійного крутного моменту, або із зменшенням частоти обертання колінчастого валу ДВЗ. Останній підхід забезпечить зростання моменту зчеплення та підвищить динаміку рушання АТЗ.

Для визначення координат опорних точок параметричної кривої (P_0 , P_1 , P_2 та P_3 на рисунку 7), під час адаптації закону, використовується положення педалі акселератора в якості аргументу полінома (рис. 24). Задля забезпечення початку рушання відразу після відпускання педалі гальма точка P_0 має однакові координати при будь-якому положенні педалі акселератора (рис. 24 б).



а — за умови підтримки максимального моменту двигуна; б — за умови підтримки максимального моменту двигуна та початку рушання при відпусканні педалі гальма
Рисунок 24 — Вигляд функції $R(t)$ закону керування зчепленням

Використання закону керування зчепленням із дотичністю всіх кривих до осі абсцис (рис. 25 а) забезпечує найменший час синхронізації дисків зчеплення та найменшу роботу буксування. Зменшення роботи буксування забезпечується частковим розвантаженням дисків зчеплення наприкінці синхронізації їх швидкості обертання. При цьому прискорення АТЗ вище ніж в режимі руху із постійним крутним моментом (рис. 25 б).

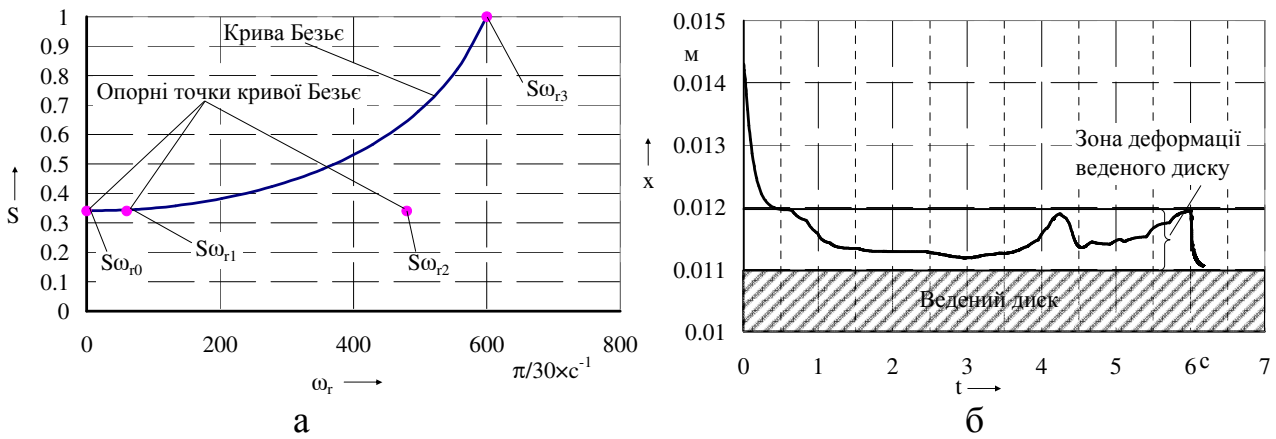


а — вигляд функції $R(t)$ закону керування зчепленням за умови підтримки максимального моменту двигуна, початку рушання при відпусканні педалі гальма та забезпечення плавної синхронізації кутових швидкостей дисків зчеплення; б — порівняння характеристик розгону; 1 — прискорення за функцією $R(t)$ (рис. 24 а); 2 — прискорення за функцією $R(t)$ (рис. 24 б); 3 — прискорення за функцією $R(t)$ (рис. 25 а)

Рисунок 25 — Вигляд функції $R(t)$ закону керування зчепленням та характеристики розгону АТЗ

Зменшення ривків в трансмісії, під час торкання поверхонь тертя, забезпечує плавний перехід від початкового положення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням до положення штоку, що визначено законом керування (рис. 26). Такий підхід передбачає дві стадії:

- швидке переміщення штоку виконавчого пристрою до положення, яке характеризується торканням поверхонь дисків зчеплення. (Забезпечується початком кривої Безьє ($S_{\omega_{r0}}$) в точці, що відповідає положенню штоку виконавчого пристрою керування зчепленням, яке забезпечує торкання поверхонь дисків зчеплення (рис. 26 а));
- плавне переміщення до положення, яке визначене законом керування. (забезпечується спеціальною функцією (рис. 26 б)).

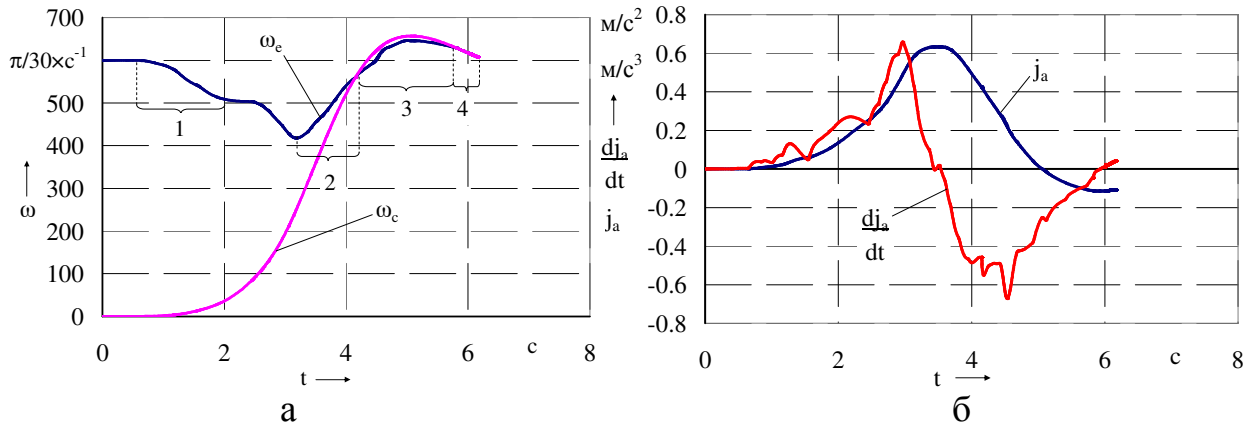


а — вигляд залежності $S = f(\omega_r)$ для перерізу, що відповідає нерухомому АТЗ ($\omega_c = 0$); б — динаміка переміщення натискного диску зчеплення відносно зони деформації веденого диску

Рисунок 26 — Забезпечення плавного торкання дисків зчеплення

Як видно на рисунку 26 б наприкінці синхронізації кутових швидкостей дисків зчеплення відбувається відсування дисків один від одного задля зменшення моменту зчеплення та ривка. Протікання робочого процесу рушання за таким законом має характерні ділянки (рис. 27 а). 1 — зона виходу штоку у положення, що задано законом керування зчепленням; 2 — зона зменшення притискання натискного диску задля зниження ривку при блокуванні дисків зчеплення; 3 — зона проковзування для гасіння зайвої швидкості руху автотранспортного засобу; 4 — зона повного блокування зчеплення. В результаті аналізу динаміки першої похідної прискорення центру колеса АТЗ, що впливає на відчуття ривків водієм та пасажирями, можна спостерігати плавну зміну цього параметру та обумовлює високий рівень комфорту при рушанні АТЗ (рис. 27 б).

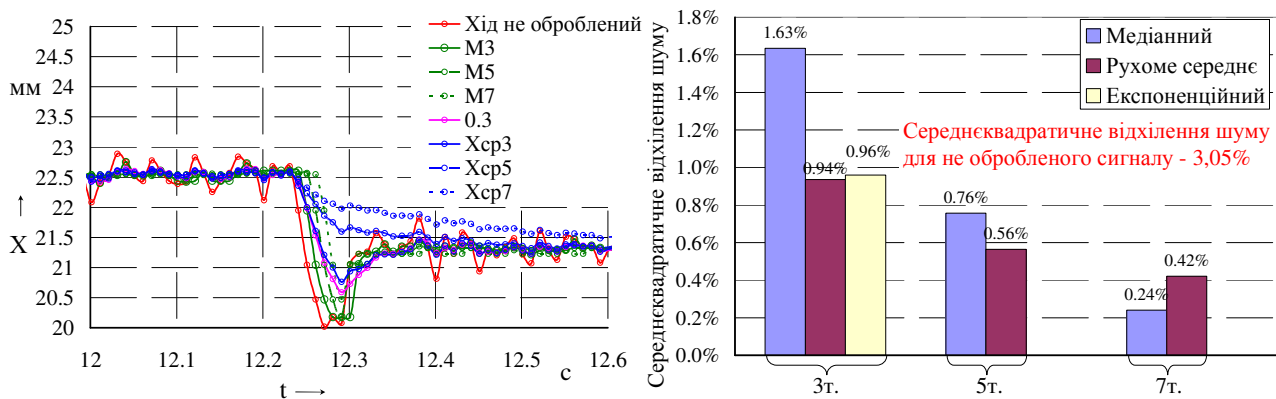
При моделюванні коливального характеру крутного момент можна спостерігати мікропроковзування, яке забезпечує зменшення рівня коливань, що передаються до трансмісії.



а — зміна кутових швидкостей; б — зміна показників динамічності та плавності рушання АТЗ;

Рисунок 27 — Динаміка процесу рушання при відпущеній педалі акселератора

Усунення впливу шумів у сигналах датчиків забезпечується застосуванням цифрових фільтрів. Проаналізовано характеристики різних цифрових фільтрів у контексті різних сигналів системи керування зчепленням (рис. 28). За результатами аналізу визначено найбільш прийнятні фільтри та дані рекомендації їх застосування для різних типів датчиків та сигналів.



M3, M5, M7 — медіанний фільтр з масивом у 3, 5 та 7 точок відповідно; Хсп3, Хсп5, Хсп7 — фільтр рухоме середнє з масивом у 3, 5 та 7 точок відповідно; 0,3 — медіанний фільтр з коефіцієнтом $k=0,3$.

Рисунок 28 — Порівняння параметрів шуму при постійному сигналі зворотного зв'язку

Враховуючи можливість використання розробленої системи керування зчепленням у складі механічної коробки передач з ручним керуванням було розроблено метод обрання раціонального режиму руху автотранспортного засобу на основі функціональної залежності між шляхом руху у режимі накату або гальмування двигуном та початковою швидкістю руху. Суть метода полягає у визначенні постійного значення середнього уповільнення, що призводить до ідентичного шляху зупинки АТЗ, що й змінне у часі уповільнення (рис. 29). Шлях вибігу розраховується з врахуванням середнього уповільнення та поточної швидкості руху АТЗ на основі балансу кінетичної енергії та роботи

сили інерції. Працездатність методу базується на попередньому, експериментальному визначенні поліному, який описує залежність уповільнення АТЗ від швидкості руху на основі даних з датчика прискорення. Результатом роботи програмного забезпечення може бути графічне чи числове представлення результатів вибігу та шляху гальмування двигуном на поточній та на пониженій передачах. Це дасть змогу водієві більш раціонально використовувати кінетичну енергію автомобіля задля руху перед місцями зниження швидкості та спонукатиме водія не створювати надлишку кінетичної енергії, шляхом своєчасного припинення руху під тягою.

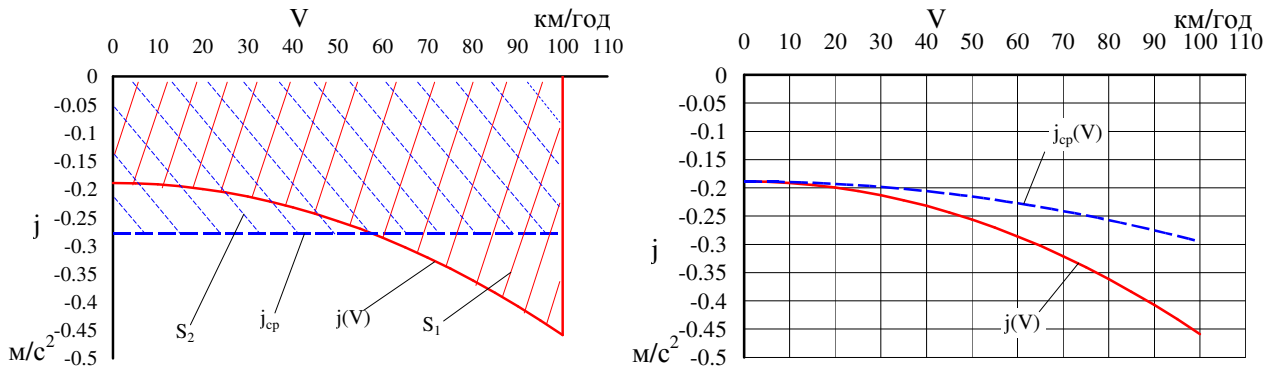


Рисунок 29 — Графічна інтерпретація сенсу заміщення функції $\frac{dV(t)}{dt}$ на j_{cp} та зміна j_{cp} у залежності від зниження швидкості руху впродовж вибігу

Зіставлення експериментальних даних із прогнозованим вибігом дозволяє стверджувати про похибку у визначенні 2 % для горизонтальної ділянки дороги та у похибку до 10 % при наявності ухилу дороги (рис. 30).

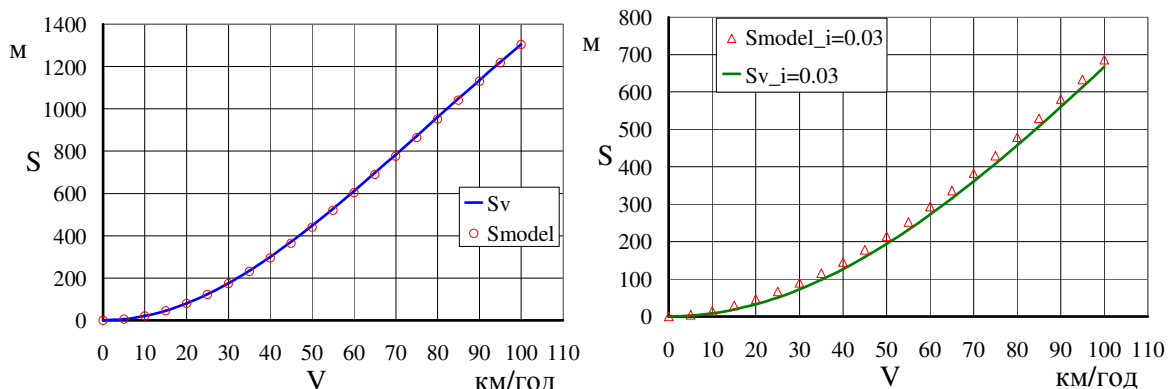
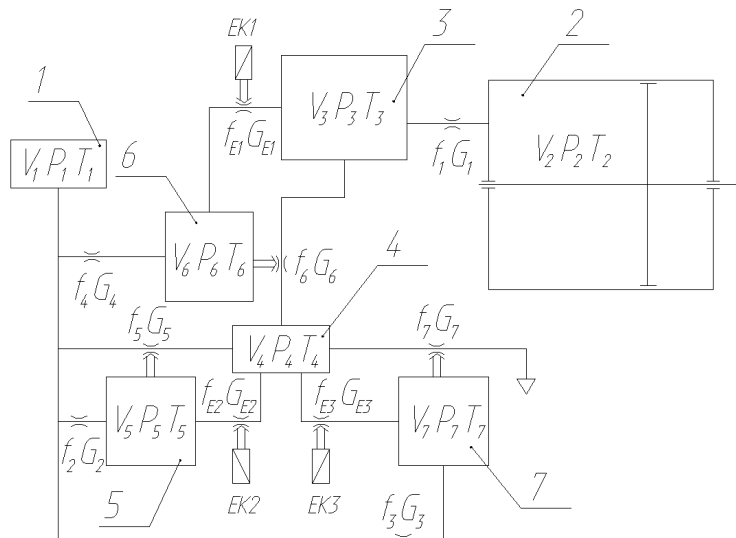


Рисунок 30 — Вибіг отриманий шляхом математичного моделювання та передбачений за пропонованим методом на горизонтальній ділянці дороги та на дорозі з ухилом величиною $i=0,03$

У шостому розділі наведено порівняння керування зчепленням в автоматичному та не автоматичному режимах, показана необхідність забезпечення високої точності позиціонування штоку виконавчого пристрою керування зчепленням при використанні режиму мікропроковзування.

На основі розрахункової схеми пневматичної частини виконавчого пристрою керування зчепленням (рис. 31) проаналізовано робочій процес релейної системи керування зчепленням, що має виконавчий пристрій із послідовно-паралельним розташуванням електропневматичних клапанів. Запропонована схема має дві особливості:

- додатковий електропневматичний клапан, що розташований послідовно по відношенню до впускного та випускного електропневматичних клапанів;
- мембранний клапан, підсилююча порожнина якого не має скидання повітря до атмосфери.



1 — ресивер; 2 — порожнина силового циліндра; 3 — канал між блоком клапанів та циліндром; 4 — порожнина між трьома клапанами; 5 — підсилююча порожнина впускного мембранного клапана; 6 — підсилююча порожнина мембранного клапана, що розташований послідовно до впускного та випускного мембранних клапанів; 7 — підсилююча порожнина випускного мембранного клапана; T, V, p — температура, об'єм і тиск повітря відповідних ланок; f_{E1}, f_{E2}, f_{E3} — площа перетину відповідно впускного, випускного та центрального (впускного-випускного) електропневматичного клапана, m^2 ; f_1, f_2, f_3, f_4 — площа прохідного перетину відповідних каналів, m^2 ; f_5, f_6, f_7 — площа перетину відповідних мембранних клапанів, m^2 ; $G_1, G_2, G_4, G_5, G_6, G_7, G_{E1}, G_{E2}, G_{E3}$ — витрата повітря через відповідні дроселі

Рисунок 31 — Розрахункова схема пневматичної частини виконавчого пристрою керування зчепленням

Завдяки послідовному електропневматичному клапану є можливість накладання фаз відкритого стану послідовно розташованих електропневматичних клапанів, що забезпечує практично будь-який час його відкритого стану та скорочення числа спрацювання кожного клапана у 1,5 рази у порівнянні із одиночним клапаном. Відсутність скидання повітря до атмосфери з підсилюючої порожнини мембранного клапана дозволяє підвищити його швидкодію та зменшити запізнення закриття мембрани по

відношенню до переміщення осердя електромагнітного клапану на 0,0019 с або на 59,5 %.

Автоматизована система керування зчепленням проходила дорожні випробування в різних режимах на ходовій лабораторії кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула ХНАДУ (рис. 32). Стендові випробування проводилися в кліматичній камері Вовчанського агрегатного заводу, та на його стендах довготривалих випробувань для підтвердження ресурсу виконавчого пристрою керування зчепленням та датчика положення педалі (рис. 33).

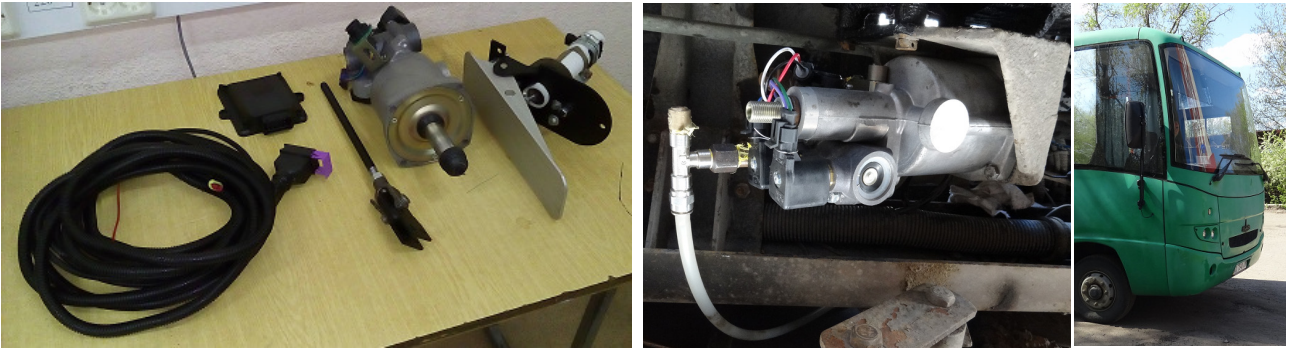


Рисунок 32 — Проходження випробувань на автобусі МАЗ — 256200 каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула ХНАДУ



Рисунок 33 — Проходження випробувань на стендах ПрАТ “Вовчанський агрегатний завод”

Полігонні випробування проводилися на експериментальній модифікації міського автобусу А10С3А виробництва Запорізького автомобілебудівного заводу та отримала позитивну оцінку (рис. 34).



Рисунок 34 — Випробування на автобусі А10С3А експериментальної модифікації виробництва ЗАЗ

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі теоретично узагальнено і показано розвиток наукових основ актуальної науково-технічної проблеми підвищення ефективності рушання автотранспортних засобів, покращення умов роботи водія та підвищення комфорту під час руху шляхом покращення вихідних параметрів автоматизованих та автоматичних систем керування зчепленням автотранспортних засобів категорій M_3 та N_3 .

Основні наукові і практичні висновки дослідження:

1. В результаті аналізу трансмісій автотранспортних засобів та їх систем керування встановлено, що механічна трансмісія займає 78% ринку. Існує проблема керування зчепленням та рушання автотранспортного засобу категорій M_3 та N_3 . Тому впровадження технологій автоматизації керування процесом рушання автотранспортного засобу з фрикційним зчепленням є актуальною проблемою.

2. Запропонований математичний опис рушання автотранспортного засобу, особливістю якого є: удосконалений опис сухого тертя в зчепленні, математична модель електронного блоку керування та опис опору коченню при рушанні автотранспортного засобу, дає змогу:

- забезпечити стабільність характеристики моменту зчеплення під дією циклічного крутного моменту двигуна та уникнути зупинки при моделюванні;
- скоротити час настроювання реальної системи керування за рахунок більш швидкого перенесення програми до електронного блоку;
- врахувати процеси затримки та якості фільтрації при моделюванні робочого процесу керування зчепленням;
- визначити опір коченню колеса при рушанні із врахуванням зміни вектору швидкості автотранспортного засобу;
- тестувати закони та алгоритми керування зчепленням та оцінювати їх ефективність.

Отриманий результат доповнює теорію автоматизованого та автоматичного рушання автотранспортного засобу.

3. Вперше запропоновано формування закону автоматичного керування зчепленням параметричними кривими. Встановлено, що:

- виділено два режими руху після синхронізації: режим руху із сталою швидкістю, режим руху із прискоренням. Розмежування між режимами руху визначається мінімально стійкою швидкістю обертання колінчастого валу двигуна та відношенням сусідніх передавальних чисел в коробці передач.
- опорні точки параметричної кривої Безьє дозволяють адаптувати закон керування зчепленням без складних обчислень у електронному блоці керування;
- визначений фізичний сенс та наведено залежності для визначення координат опорних точок кривих Безьє, що формують закон керування зчепленням.

Отриманий результат є теоретичними основами системи керування зчепленням механічної трансмісії автотранспортних засобів категорій M_3 та N_3 .

4. Імітаційними дослідженнями динаміки рушання автотранспортного засобу із застосуванням автоматичної системи керування зчепленням встановлено, що:

- запропоновані теоретичні основи формування автоматичного закону керування зчепленням забезпечують покращення умов роботи водія;
- використання інерції обертальних мас двигуна внутрішнього згоряння дозволяє скоротити час рушання на 33% та зменшити роботу буксування 27%;
- запропонований закон керування зчепленням дозволяє зменшити ривки автотранспортного засобу, що відчуються водієм під час торкання дисків зчеплення та наприкінці їх синхронізації на 90%;
- часткове розвантаження зчеплення наприкінці синхронізації його дисків дозволяє знизити ривок з $0,7 \text{ м/с}^3$ до $0,5 \text{ м/с}^3$;
- при рушанні із виходом на сталу швидкість руху вимикання зчеплення перед синхронізацією дозволяє уникнути перерегулювання швидкості руху на $0,8 \text{ км/год}$.

Отриманий результат підтверджує, що розроблені теоретичні основи системи керування зчепленням механічної трансмісії автотранспортного засобу забезпечують підвищення ефективності його рушання, покращення умов роботи водія та підвищення комфорту під час руху.

5. Встановлено, що похибка моделювання робочого процесу електропневматичного клапану не перевищує 2 % при його відкритті та 5 % при його закритті. Завдяки ідентифікації параметрів передавальних функцій, робочий процес виконавчого пристрою керування зчепленням описано з точністю 2 % порівняно із експериментальними даними. Опис робочого процесу на двох ділянках характеристики максимально точності відрізняється лише запізненням. Отриманий результат підтверджує коректність запропонованої методології формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням з врахуванням реакції її елементів.

6. Отримала подальший розвиток методологія формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням при дії збурюючих факторів. В результаті експериментальних досліджень, в умовах зміни температури навколишнього середовища, було встановлено, що:

температурний дрейф сигналів, що проходять через аналогово-цифровий перетворювач електронного блоку керування не перевищує 8 % в межах температур $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ – $+30 \text{ }^\circ\text{C}$;

- підвищення температури навколишнього середовища на $100 \text{ }^\circ\text{C}$, так само як і збільшення перепаду тиску на електропневматичному клапані вимагає подовження пілотного керуючого імпульсу на 1 мс для збереження стабільності керуючого впливу;

- температура навколишнього середовища не впливає на час відпускання електромагнітного клапану;

- використання сферичного осердя в індукційному датчику положення покращує лінійність його характеристики на 30 % – 50 %;

- визначення початкової точки характеристики педалі керування з індуктивним датчиком шляхом шунтування живлення дозволяє в 3,6 рази зменшити дрейф точки положення педалі зчеплення при якому відбувається

торкання дисків зчеплення та розпочинається рушення автотранспортного засобу в діапазоні температур навколишнього середовища $-55\text{ }^{\circ}\text{C} - +54\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отриманий результат підтверджує, що розроблена методологія формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням сприяє підвищенню стабільності її вихідних параметрів.

7. Зіставлення експериментальних даних із прогнозованим вибігом дозволяє стверджувати про похибку у визначенні 2 % для горизонтальної ділянки дороги та у похибку до 10 % при наявності ухилу дороги.

Отриманий результат підтверджує коректність запропонованого методу обрання раціонального режиму руху автотранспортного засобу.

8. Результати роботи впроваджено:

- в навчальний процес ХНАДУ;
- в Холдингової компанії «АвтоКрАЗ»;
- в ПрАТ «Вовчанський агрегатний завод»;
- в Полтавському авто агрегатному заводі;
- в Запорізькому автомобілебудівному заводі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Михалевич, М. Г. (2016). Проблеми фільтрації сигналів у системах керування та збору даних. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 75, 178 – 181.

2. Михалевич, М. Г. (2020). Модель тертя для моделювання робочого процесу сухого фрикційного зчеплення. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, 18, 28 – 36.

3. Богомолів, В. А., Клименко, В. И., Ужва, А. В., Михалевич, Н. Г., Сильченко, Н. Н. (2010). Анализ существующих конструкций трансмиссий. *Автомобільний транспорт*, 27, 17 – 21.

4. Богомолів, В. А., Клименко, В. И., Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2011). Анализ конструкций исполнительных механизмов управления сцеплением автомобилей. *Автомобільний транспорт*, 29, 52 – 55.

5. Богомолів, В. О., Клименко, В. І., Михалевич, М. Г., Леонтьєв, Д. М., Ярита, О. О., Рябуха, Ю. О., Усков, О. І. (2018). Варіанти реалізації механізму компенсації зносу фрикційних накладок веденого диску зчеплення і його застосування для вантажних автомобілів та автобусів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*, 14, 51 – 59.

6. Клименко, В. И., Богомолів, В. А., Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2013). Пути повышения быстродействия исполнительного механизма электропневматического привода сцепления автомобилей. *Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»*, 142, 73 – 75.

7. Mikhalevich, N., Yarita, A., Turenko, A., Leontiev, D., Gritsuk, I., Bogomolov, V. ... Smieszek, M. (2018). Assessment of Operation Speed and Precision of Electropneumatic Actuator of Mechanical Transmission Clutch Control System. *SAE Technical Paper. 2018-01-1295. (Scopus, квартиль Q2)*.

8. Клименко, В. И., Богомолов, В. А., Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2014). Построение статической характеристики механизма выключения сцепления транспортного средства. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (серія: Автомобіле- та тракторобудування), 8 (1051), 109 – 113.
9. Клименко, В. И., Богомолов, В. А., Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2014). Выбор способа управления рабочим процессом и построение алгоритма управления электропневматическим приводом сцепления. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 155, 14 – 20.
10. Yaryta, O. A., Mikhalevich, N. G., Leontiev, D. N., Klymenko, V. I., Bogomolov, V. A., Gritsuk, I. V., Novikova, Y. B. (2018). Features of Controlling Electropneumatic Valves of Actuator to Control its Clutch with Acceleration Valve. Science and Technique, 17 (1), 64 – 71. (Web of Science)
11. Клименко, В. І., Михалевич, М. Г., Леонтьев, Д. М., Ярита, О. О., Рябуха, Ю. О. (2017). Моделювання роботи автоматичної системи керування зчепленням. Автомобільний транспорт, 41, 74 – 79.
12. Михалевич, М. Г., Богомолов, В. О., Клименко, В. І., Ярита, О. О., Леонтьев, Д. М., Рябуха, Ю. О. (2018). Підвищення точності роботи електропневматичного механізму керування зчепленням транспортних засобів категорій N3 та M3 шляхом використання послідовного розташування електропневматичних клапанів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 1(30), 130 – 137.
13. Yarita, A., Mikhalevich, N., Leontiev, D., Gritsuk, I., Bogomolov, V., Klimenko, V., Saravas, V. (2019). Selection of Rational Parameters of Automated System of Robotic Transmission Clutch Control on the Basis of Simulation Modelling. SAE Technical Paper. 2019-01-0029. (Scopus, кuartиль Q2).
14. Riabukha, Iu. A., Mikhalevich, N. G., Voronova, E. M., Yarita, A. A., Klimenko, V. I., Kolbasov, A. N. (2018). Clutch operating device with friction lining wear compensation analysis of properties and utilization efficiency. Автомобільний транспорт, 43, 26 – 30.
15. Zalohin, M. Yu., Liubarskyi, B. A., Schuklinov, S. N., Mychalevych, M. G., Leontiev, D. N. (2018). Study of Proportional Pressure Modulator on the Basis of Electromagnetic-Type Linear Motor. Science and Technique, 17 (5), 440 – 446. (Web of Science)
16. Михалевич, Н. Г. (2009). Определение границ равновесия впускного и выпускного мембранного клапана модулятора давления. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», 47, 133 – 138.
17. Михалевич, Н. Г., Сильченко, Н. Н. (2018). Усовершенствование параметров модели электродвигателя механизма переключения передач в трансмиссии автотранспортных средств. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 13, 42 – 47.
18. Михалевич, Н. Г., Сильченко, Н. Н. (2017). Теоретические исследования рабочих процессов в механизме переключения передач. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 1(50), 88 – 91.

19. Двадненко, В. Я., Михалевич, М. Г. (2016). Режим совместной работы электродвигателя и ДВС в конверсионном гибридном автомобиле. *Автомобільний транспорт*, 39, 80 – 85.

20. Клименко, В. И., Михалевич, Н. Г. (2009). Уточнение методики определения статической точности электропневматического тормозного привода и требований к его статической характеристике. *Автомобільний транспорт*, 24, 27 – 32.

21. Туренко, А. Н., Шуклинов, С. Н., Михалевич, Н. Г. (2012). Моделирование динамики колесной машины с адаптивным электропневматическим приводом тормозов. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 56, 66 – 74.

22. Клименко, В. И., Богомолов, В. О., Михалевич, М. Г., Леонтьев, Д. М. (2018). Автоматизація механічної трансмісії автобусів та вантажних транспортних засобів: монографія. Харків: ХНАДУ.

23. Богомолов В.О., Клименко В.И., Михалевич М.Г., Леонтьев Д. М. Ярита О.О., Сільченко М.М. (2018). Розробка адаптивних систем керування трансмісією: монографія. Харків: ХНАДУ.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

24. Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2016). Обоснование ступенчатости характеристики максимальной точности механизма управления сцеплением. Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Сборник научных трудов по результатам МНПК «Безопасность дорожного движения», 446 – 452.

25. Клименко, В. И., Михалевич, Н. Г., Рябуха, Ю. А. (2017). Механизм управления сцеплением с компенсацией износа фрикционных накладок, Анализ свойств и эффективности использования. Перспективы развития дорожно-транспортных и инженерно-коммуникационных инфраструктур. Сборник материалов международной конференции. Ташкент.

26. Богомолов, В. О., Клименко, В. И., Михалевич, М. Г., Леонтьев, Д. М., Ярита, О. О., Сільченко, М. М. (2019). Автоматизована система керування механічною трансмісією спеціальних та військових автомобілів, Службово-бойова діяльність Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи, Секція 2. Технічне та тилове забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: сучасний стан, проблеми та перспективи. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції. Харків: Національна Академія Національної гвардії України.

27. Михалевич, Н. Г., Ярита, А. А. (2014). Разработка алгоритма для управления электропневматическим приводом сцепления, Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля. Тезисы докладов международной научно-практической конференции по случаю Дня автомобилиста и дорожника. Харьков: ХНАДУ.

28. Михалевич, М. Г., Ярита, О. О. (2019). Дослідження характеристик розробленого датчика положення педалі зчеплення під дією низьких температур, Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні. Міжнародна науково-практична конференція. Харків: ХНАДУ.

29. Михалевич, М. Г., Дзюбенко, О. А., Ярита, О. О. (2020). Дослідження впливу температури на роботу електромагнітного клапана, Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету. Харків: ХНАДУ.

30. Михалевич, Н. Г., Щербинка, А. В. (2015). Аналіз динаміки розгону швидкісного автомобіля класу Е-8, що оснащено різними варіантами трасмісій, Новітні технології в автомобілебудуванні та на транспорті. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ та 85-річчю автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника. Харків: ХНАДУ.

31. Михалевич, М. Г. (2020). Модель тертя для моделювання робочого процесу сухого фрикційного зчеплення, Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. VII-міжнародна науково-технічна інтернет-конференція. Харків.

32. Михалевич, М. Г. (2020). Оптимізація керуючих впливів на електропневматичний клапан виконавчого пристрою керування зчепленням, Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених. Харків.

33. Михалевич, М. Г., Гурко, О. Г., Ткачов, Д. І. . Ідентифікація математичної моделі елементів електромеханічної трансмісії автомобіля, Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених. Харків.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

34. Прискорювальний клапан: пат. 109503 Україна, № а 2014 05006, Клименко В. І., Богомолів В. О., Михалевич М. Г., та ін.; опубл. 25.08.2015.

35. Підсилювач приводу зчеплення автотранспортного засобу: пат. 119918 Україна, № а 2017 09695, Богомолів В. О., Клименко В. І., Михалевич М. Г., та ін.; опубл. 27.08.2019.

АНОТАЦІЯ

Михалевич М.Г. Теоретичні основи систем керування зчепленням транспортних засобів категорій N_3 та M_3 з механічною трансмісією. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 — автомобілі та трактори (274 — Автомобільний транспорт) — Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню проблем підвищення ефективності рушання автотранспортних засобів, покращення умов роботи водія та підвищення комфорту під час руху шляхом покращення вихідних параметрів автоматизованих та автоматичних систем керування зчепленням автотранспортних засобів категорій M_3 та N_3 .

Проведено аналіз сучасного стану систем керування зчепленням АТЗ та визначено задачі дослідження. Впродовж теоретичних досліджень удосконалено математичний опис сухого тертя у частині взаємодії контактуючих тіл за відсутності проковзування. Особливістю запропонованого закону керування зчепленням, на основі параметричних кривих Безье є виключення часу з його представлення, завдяки чому є можливість повернення до попереднього режиму руху при зміні навантаження.

Запропоновано методологію формування стабільних вихідних параметрів системи керування зчепленням з врахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів. Одним з аспектів методології є дослідження компонентів системи керування в широкому температурному діапазоні.

З метою раціонального використання водієм кінетичної енергії автомобіля розроблено метод прогнозування вибігу АТЗ на основі функціональної залежності між шляхом руху у режимі нахату або гальмування двигуном та початковою швидкістю руху, що базується на балансі кінетичної енергії та роботи сили інерції.

Ключові слова: автоматична система керування зчепленням, крива Безье, індукційний датчик, рушання автотранспортного засобу, автотранспортний засіб, вибіг, зчеплення автомобіля, вплив температури навколишнього середовища.

АННОТАЦІЯ

Михалевич Н.Г. Теоретические основы систем управления сцеплением транспортных средств категорий N_3 и M_3 с механической трансмиссией. — Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.02 — автомобили и тракторы (274 — Автомобильный транспорт) — Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению проблем повышения эффективности трогания автотранспортных средств, улучшения условий работы водителя и повышения комфорта во время движения путем улучшения выходных параметров автоматизированных и автоматических систем управления сцеплением автотранспортных средств категорий M_3 и N_3 .

Проведен анализ современного состояния систем управления сцеплением АТС и определены задачи исследования. В ходе теоретических исследований усовершенствовано математическое описание сухого трения в части взаимодействия контактирующих тел при отсутствии проскальзывания. Особенностью предложенного закона, на основе параметрических кривых Безье является исключение времени, благодаря чему появляется возможность возврата к предыдущему режиму движения при изменении нагрузки.

Предложена методология формирования стабильных выходных параметров системы управления сцеплением с учетом внутренних и внешних

факторов. Одним из аспектов методологии является исследование компонентов системы управления в широком температурном диапазоне.

С целью рационального использования водителем кинетической энергии автомобиля разработан метод прогнозирования выбега АТС на основе его текущей скорости.

Ключевые слова: автоматическая система управления сцеплением, кривая Безье, индукционный датчик, трогание автотранспортного средства, автотранспортное средство, выбег, сцепление автомобиля, влияние температуры окружающей среды.

ABSTRACT

Mykhalevych M.H. Theoretical bases of clutch control systems for the vehicles of categories N_3 and M_3 with mechanical transmission. — Qualifying scientific work, manuscript copyright.

The dissertation for competition for a scientific degree of the Doctor of Engineering Science on specialty 05.22.02 — automobiles and tractors (274 — Motor transport) — Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation deals with the problem of increasing the efficiency of vehicle movement, improvement of working conditions for the driver and comfort while driving by enhancement of output parameters of automated and automatic clutch control systems for vehicles of categories N_3 and M_3 .

The analysis of the current state of vehicles clutch control systems has been carried out and the research tasks have been determined. During theoretical research the mathematical description of dry friction in the part of interaction of contacting bodies in the absence of slipping has been improved. A feature of the proposed law of clutch control, based on parametric Bézier curves, is the exclusion of time from its representation, which makes possible to return to the previous mode of movement when the load changes.

The methodology of formation of stable output parameters of the clutch control system taking into account internal and external factors is offered. One of the aspects of the methodology is the study of the components of the control system in a wide temperature range.

In order to ensure the rational use of the car kinetic energy by the driver, a method of predicting the runaway based on the functional relationship between the path in the mode of rolling or engine braking and the initial speed was developed, which is based on the balance of kinetic energy and inertia.

Key words: automatic clutch control system, Bezier curve, induction sensor, vehicle launch, vehicle, coasting mode distance, vehicle clutch, influence of ambient temperature.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1.9. Тир. 100 прим. Зам. № 138-21.
Підписано до друку 16.03.2021. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. 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 р.

СТИЛЬ ®
ИЗДАТ 
ТИПОГРАФИЯ
www.stil-izdat.com