ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ніконов Олег Якович

УДК 629.36:681.51:621.396.9

РОЗРОБЛЕННЯ І СИНТЕЗ ІНТЕГРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ ТЕЛЕМАТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ КОЛІСНИХ ТА ГУСЕНИЧНИХ МАШИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України
Александров Євген Євгенович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова.

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

доктор технічних наук, професор
Рудзінський Володимир Васильович,
Національний транспортний університет,
професор кафедри автомобілів;

доктор технічних наук, професор
Гудз Густав Степанович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки.

Захист відбудеться «02» червня 2010 р. о 12^{00} на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (вул. Петровського, 25, м. Харків).

Автореферат розісланий «30» квітня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради І.С. Наглюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Колісні та гусеничні машини (КГМ) спеціального призначення мають широкий спектр можливостей, який у повному обсязі не доступний звичайним автомобілям та тракторам. КГМ спеціального призначення працюють в складних умовах експлуатації, інтенсивних навантажень, підвищеної відповідальності механізмів і поєднують в собі швидкохідність, маневреність, високу прохідність та вантажопідйомність. Розвиток та удосконалення КГМ спеціального призначення характеризуються безперервним покращенням існуючих і створенням нових бортових інформаційно-керуючих систем (ІКС), що забезпечують підвищення ефективності цих машин.

В Україні зосереджена значна частина промисловості колишнього СРСР, а також знаходяться НДІ і КБ з машинобудування, в яких були створені різноманітні КГМ спеціального призначення. Більшість цих машин, оснащені двигунами розробки Харківського конструкторського бюро з двигунобудування, підтверджують той факт, що Україна залишається одним із світових лідерів в галузі будування КГМ спеціального призначення.

Однак численні демонстрації вітчизняних КГМ спеціального призначення на міжнародних виставках і салонах довели не лише позитивні властивості цих машин. Оцінюючи вітчизняні КГМ спеціального призначення, закордонні спеціалісти звертають увагу на слабку бортову інформаційно-керуючу систему (ІКС) таких машин, або на її відсутність взагалі, підвищену димність відпрацьованих газів в екстремальних умовах, а саме, на початку руху і при швидкому зростанні навантаження на колінчастому валу, недосконалу систему автоматичного керування гальмами і т.д. Ці факти пояснюються використанням ІКС з лінійними законами керування на основі традиційних ПІД-регуляторів та виконавчих пристроїв, що не відповідають сучасним вимогам. Також є значні проблеми з застосуванням методів і засобів автоматизації управління рухом, транспортної телематики та принципів синергетичного об’єднання взаємодії різних транспортних засобів і систем. Для забезпечення зв’язком, визначення та графічного відображення координат власного місцеположення, навколишніх об’єктів та пунктів призначення, а також напряму руху на пункт призначення використовуються двомірні системи візуалізації і наземні системи зв’язку короткохвильового діапазону.

Таким чином, необхідно здійснити комплексну модернізацію ІКС КГМ спеціального призначення і побудувати інтегровані інформаційно-керуючі телематичні системи (ІКТС), що дозволить якісно підвищити їх точність, функціональну і структурну надійність, якість перехідних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів при внутрішніх та зовнішніх збуреннях, а також знизити навантаження на екіпаж і витрати енергоресурсів.

Шляхи вирішення поставленої проблеми ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІКТС з використанням розвиненої математичної моделі об’єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелекту-

альних систем керування, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об’єкт. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатошарових нейронних мереж (ШНМ) і методів еволюційного моделювання, зокрема генетичних алгоритмів (ГА), а також нечіткої логіки і гібридних нейро-фаззі архітектур.

Для підвищення ефективності керування взаємодією КГМ спеціального призначення необхідно розробити ІКТС, що поєднує географічну інформаційну систему (ГІС) та систему супутникового мобільного зв'язку (ССМЗ). Поєднання новітніх технологій для синтезу ІКТС на основі ШНМ і методів еволюційного моделювання дозволить задовольнити високі вимоги до цих систем, забезпечивши тим самим необхідний сучасний рівень ІКТС і технічних характеристик КГМ спеціального призначення в цілому, що і визначає актуальність і перспективність теми дисертаційної роботи.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у відповідності з Державною програмою модернізації колісної та гусеничної броньованої техніки, що розробляється Міністерством Оборони України і Міністерством промислової політики України, відповідно до Закону України «Про визнання бронетанкової галузі однією з пріоритетних у промисловості України та заходів щодо надання їй державної підтримки» №2211-III від 11 січня 2001 р.

Робота виконувалася у відповідності з Державними замовленнями Міністерства освіти і науки України з розробки новітніх технологій:

– ДЗ/142-2005 «Розроблення систем автоматичної стабілізації підвищеної точності для транспортних засобів спеціального призначення на базі теорії нейронних мереж і фаззі-логіки» (2005-2006 рр.), № державної реєстрації 0106U001519, науковий керівник;

– ДЗ/123-2006 «Розроблення інваріантних виконавчих механізмів для колісних та гусеничних машин і транспортних роботів» (2006-2007 рр.), № державної реєстрації 0107U000601, науковий керівник;

– ДЗ/30-2003 «Розробка наукових основ, методів параметричного синтезу, алгоритмічних і програмних засобів систем керування і зв'язку колісних та гусеничних машин спеціального призначення» (2003-2004 рр.), № державної реєстрації 0103U007474, відповідальний виконавець;

– ДЗ/351-2007 «Розроблення адаптивних систем керування зі змінною структурою для багатоцільових гусеничних та колісних машин» (2007-2008 рр.), № державної реєстрації 0107U008172, відповідальний виконавець;

– ДЗ/491-2009 «Розроблення комплексованих інерціальних навігаційних систем для багатоцільових гусеничних та колісних машин» (2009-2010 рр.), № державної реєстрації 0109U006122, відповідальний виконавець.

Робота виконувалася у відповідності з держбюджетними науково-дослідними темами Міністерства освіти і науки України: № М2414 «Розробка наукових основ і методів параметричного синтезу механічних систем, що

знаходяться під впливом випадкових зовнішніх збурень, на основі даних експериментальних досліджень» (2002-2004 рр.), № державної реєстрації 0102U000978, відповідальний виконавець; № М2417 «Скорпіон» (2005-2007 рр.), № державної реєстрації 0105U000003, відповідальний виконавець; № М2419 «Скорпіон-2» (2008-2009 рр.), № державної реєстрації 0108U000015, відповідальний виконавець; № М2415 «Персей» (2002-2004 рр.), № державної реєстрації 0103U000016, виконавець; № М2418 «Добриня» (2005-2007 рр.), № державної реєстрації 0105U000002, виконавець; № М2420 «Добриня-2» (2008-2009 рр.), № державної реєстрації 0108U000016, виконавець.

Робота виконувалася у відповідності з господарськими договорами між Національним технічним університетом «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») і Державним підприємством «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут», автор є виконавцем договорів: № 24135 «Параметричний синтез алгоритмів підсистеми автоматичного керування ступінчатою трансмісією колісних та гусеничних машин спеціального призначення» (2002-2004 рр.); № 24172 «Параметричний синтез алгоритмів підсистеми автоматичного керування взаємодією» (2003 р.); № 24215 «Розробка функціональної схеми та математичної моделі цифрової системи автоматичного керування паливоподаванням транспортного дизеля 6ТД з метою зменшення димності відпрацьованих газів у складі МТВ з бортовими автоматичними коробками передач» (2003 р.); № 24286 «Параметричний синтез та експериментальна перевірка цифрової системи автоматичного керування паливоподаванням транспортного дизеля 6ТД» (2004 р.); № 24583 «Інформаційно-керуючі системи для колісних та гусеничних машин спеціального призначення» (2006 р.).

Мета і задачі дослідження. *Метою роботи* є розроблення і синтез контурів керування інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі об'єднання синергетичного підходу і методів транспортної телематики, інтелектуального керування і еволюційного моделювання, реалізація систем на мікроконтролерах і випробування їх на стендах.

Для досягнення поставленої мети треба вирішити такі задачі:

– провести аналіз існуючих і перспективних ІКС колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– проаналізувати зовнішні збурення, що діють на колісні та гусеничні машини спеціального призначення з ІКС;

– розробити алгоритм для моделювання 3D моделей місцевості;

– розробити структурні схеми і математичні моделі ІКТС з нейроконтролером в контурі керування для колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– розробити математичну модель і інформаційні карти прийому-передачі інформації в ССМЗ, що знаходяться під дією багатомодової перешкоди;

– розробити методику побудови нейроконтролерів для ІКТС колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– синтезувати ІКТС з нейроконтролерами в контурі керування для колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– здійснити експериментальну перевірку працездатності розроблених систем;

– здійснити порівняння розроблених ІКТС з нейроконтролерами для колісних та гусеничних машин спеціального призначення з серійними системами;

– здійснити тестування і корекцію алгоритмічних та програмних засобів нейроконтролерів на основі експериментальних досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами.

Предмет дослідження – колісні та гусеничні машини спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами, що знаходяться під впливом випадкових збурень із заздалегідь невідомими параметрами.

Методи дослідження, що застосовані в роботі:

– методи теоретичної механіки, технічної гідравліки, механіки рідини та газу, математичного моделювання, телематики і мехатроніки при розробці математичних моделей колісних та гусеничних машин спеціального призначення з ІКТС;

– методи імітаційного моделювання, теорії випадкових функцій і процесів для побудови 2D і 3D моделей місцевості;

– методи сучасної теорії керування при синтезі нелінійних ІКТС;

– методи штучного інтелекту: теорії штучних нейронних мереж і нечіткої логіки для розробки нейроконтролерів ІКТС;

– еволюційні методи моделювання для навчання нейроконтролерів і синтезу ІКТС;

– методи об'єктно-орієнтованого моделювання при структурно-параметричному аналізі ІКТС;

– методи цифрової обробки сигналів і зображень при аналізі і синтезі інформаційних карт зв'язку та навігації ІКТС;

– методи досліджень динамічних процесів для експериментальної перевірки працездатності розроблених ІКТС і порівняння їх з серійними.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

вперше

– запропоновано, обґрунтовано і реалізовано концепцію інтелектуального транспортного засобу на основі штучних нейромережевих регуляторів для колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами, що дозволяє якісно підвищити ефективність як одного транспортного засобу, так і транспортної системи в цілому за рахунок об'єднання синергетичного підходу і еволюційних методів навчання багатошарових штучних нейронних мереж шляхом об'єктивного формування архітектури цих мереж на основі функціоналів навчання і відповідних цілей керування;

– розроблено математичні моделі інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення, зокрема системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД, 6ТД і системи керування наземною антенною установкою системи супутникового мобільного зв’язку на основі використання відповідних нейроконтролерів у контурах керування, що надає можливість підвищити якість динамічних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів і внутрішніх та зовнішніх збурюючих впливів;

– побудовано математичну модель системи підресорювання для колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання безперервного «кольорового» і «дробового» шумів в якості зовнішніх збурень, діючих на систему, що дозволяє визначити вплив дії пересіченої місцевості на колісні та гусеничні машини спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами;

– розроблені 3D моделі місцевості, заснованих на дійсному нормальному марківському полі, що надає можливість підвищити якісний рівень математичних моделей колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами;

– розроблено математична модель і інформаційні карти прийому-передачі інформації в системах супутникового мобільного зв’язку, які знаходяться під дією багатомодової перешкоди, для інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення, що являє собою сукупність відповідних математичних моделей та алгоритмів, які описують процес керування колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання штучних супутників зв’язку і дозволяють підвищити ефективність керування взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– запропоновано підхід до оперативної маршрутизації для навігаційного комплексу колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі геоінформаційніх технологій для забезпечення їх оперативного управління, що надає можливість значно підвищити якість зв’язку і управління взаємодією машин на розрахованих маршрутах руху;

– синтезовано інтегровані інформаційно-керуючі телематичні системи для колісних та гусеничних машин спеціального призначення з нейроконтролерами в контурі керування на основі багатошарових штучних нейронних мереж і методів еволюційного моделювання: системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД, 6ТД і системи керування наземною антенною установкою супутникового мобільного зв’язку, що надає можливість підвищити точність, швидкодію і енергоефективність цих інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем;

– синтезовано цифрову систему керування гальмами колісної машини спеціального призначення на основі запропонованого електрогідравлічного перетворювача на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та

пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, що надає можливість підвищити точність, швидкодію, енергоефективність і завадостійкість цих систем;

удосконалено

– електрогідравлічну систему керування навісним обладнанням колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання багатофункціонального пропорційного електрогідравличного перетворювача, що надає можливість інтеграції в повному обсязі цих систем до інформаційно-керуючих телематичних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– критерії якості систем супутникового мобільного зв’язку на основі регіональних інформаційних карт ймовірності помилки при прийомі-передачі інформації, що дозволяють підвищити ефективність управління колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– підхід до синтезу нейроконтролера, навченого по фізичній моделі з цифровим регулятором на базі мікроконтролера, що дозволяє підвищити якість такого контролера шляхом застосування комбінованих методів навчання;

дістало подальший розвиток

– використання нелінійних математичних моделей колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами, заснованих на нелінійних законах керування, що дозволяє підвищити точність таких математичних моделей;

– використання принципів побудови єдиного інформаційного простору на основі об'єднання синергетичного підходу і методів штучного інтелекту для автоматизації управління рухом колісних та гусеничних машин спеціального призначення, що дозволяє підвищити ефективність взаємодії цих машин.

Достовірність вищезазначених розроблених моделей підтверджується коректним застосуванням апробованого математичного апарату, узгодженістю результатів математичного моделювання з результатами вже відомих досліджень і теоретичних положень, а також проведених експериментів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи знайшли використання на підприємствах, що займаються створенням і модернізацією колісних та гусеничних машин, а також інших транспортних засобів спеціального призначення, а саме:

– Відкритому акціонерному товаристві «Харківський тракторний завод ім. С.Орджонікідзе» – при виконанні Державних замовлень Міністерства освіти і науки України розроблено цифровий блок з нейрокеруванням для легкоброньованих машин;

– Державному підприємстві «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» – при виконанні господарських договорів і Державних замовлень Міністерства освіти і науки України розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– Науково-виробничому підприємстві «Хартрон-Аркос» – при виконанні Державних замовлень Міністерства освіти і науки України розроблено математичні моделі, алгоритмічне і програмне забезпечення для цифрового блоку керування системи стабілізації рухом транспортних засобів;

– Державному підприємстві «Чугуївський авіаційний ремонтний завод» – при виконанні Державних замовлень Міністерства освіти і науки України побудовані математичні моделі, алгоритмічне і програмне забезпечення для цифрового блоку керування системи розподілу гальмових сил колісної машини;

– Акціонерному товаристві «Гідроапаратура» – при виконанні Державних замовлень Міністерства освіти і науки України розроблено стенд для експериментального дослідження електрогідравлічних перетворювачів зі зворотним зв'язком по тиску та мікропроцесорним керуванням з нейроконтролером.

За основні наукові результати представленої дисертаційної роботи автору присуджена премія Президента України для молодих вчених 2006 року згідно Указу Президента України від 15 грудня 2006 р. № 1083/2006.

Також результати досліджень впроваджені в навчальний процес НТУ «ХПІ» при підготовці спеціалістів за спеціальностями: 6.050702 – електричні системи і комплекси транспортних засобів, 7.050101 – інформаційні технології проектування і 7.050503 – військові гусеничні і колісні машини.

Від вищезазначених організацій і підприємств є відповідні акти впровадження, які прикладені до дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, розробки та висновки, які наведені у дисертації, є результатом самостійних досліджень автора. Всі теоретичні, методологічні і концептуальні розробки, наведені у підрозділі Наукова новизна, отримані самостійно. В роботах за темою дисертації, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у наступному:

– у статті [3] автором розроблено новий підхід до оперативної маршрутизації колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі геоінформаційніх технологій для забезпечення оперативного управління транспортними процесами;

– у статті [4] автором розроблено структурну схему алгоритму оптимізації динамічних систем, що знаходяться під впливом випадкових зовнішніх збурень;

– у статті [5] автором розроблено методику оптимізації потужності бортових передавачів супутників зв'язку, на основі запропонованого критерію якості знайдено оптимальні значення потужності бортових передавачів космічних станцій;

– у статті [6] автором здійснено оптимізацію параметрів робочих об'ємів гідромашин;

– у статті [7] автором побудовано алгоритми моделювання зовнішніх збурень, що діють на гусеничну машину;

– у статті [8] автору належить розроблення програмних пакетів для оптимізації параметрів системи підресорювання транспортного засобу на основі теорії планування експерименту;

– у статтях [9, 10] автором здійснено параметричний синтез електронного всережимного регулятору транспортного дизеля та розрахунки перехідних процесів у замкненій системі паливоподавання;

– у статті [11] автором розроблено алгоритм генерації струмів збудження, що подаються на електромагнітні гальмові пристрої дослідницького стенду;

– у статтях [14-17, 19] автором запропоновано використати методи еволюційного моделювання і теорії штучних нейронних мереж в гідро- та електромеханічних системах колісних та гусеничних машин, побудовано функціонали якості для оцінки систем;

– у статті [18] автором побудовано області стійкості замкненої системи стабілізації об’єкта в просторі трьох коефіцієнтів посилення;

– у статті [20] автору належить формалізація вимог до електрогідравлічних систем колісних та гусеничних машин;

– у статті [22] автором запропоновано об’єктно-орієнтований підхід моделювання для систем і агрегатів колісних та гусеничних машин;

– у статті [27] автором розроблено електрогідравлічну схему системи керування начіпним обладнанням тракторів із застосуванням багатофункціональних пропорційних електрогідравличних перетворювачів;

– у статті [28] автором розроблено імовірнісні математичні моделі оцінки впливу різних видів помилок, що виникають при аналізі оператором пропонованої інформації інтегрованою інформаційно-керуючою телематичною системою колісних та гусеничних машин спеціального призначення;

– у статтях [32, 34] автору належить розробка алгоритмів моделювання профілю пересіченої місцевості за допомогою дробового і білого шумів;

– у статті [33] автору належить розробка алгоритмів обробки і контролю інформації датчиків кутової швидкості системи керування рухом транспортних засобів;

– у статті [37] автором здійснено параметричний синтез цифрової системи автоматичного керування гальмами автомобіля.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати досліджень за темою дисертаційної роботи доповідались, обговорювалися і були схвалені на:

– IV, V Міжнародних науково-технічних конференціях «Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації» (м. Туапсе, 1998 р., 1999 р.);

– VII–XVII Міжнародних науково-технічних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я» MicroCAD (м. Харків, 1999-2009 рр.);

– IV, VI Міжнародних конгресів з двигунобудування (м. Рибаче, 1999 р., 2001 р.);

– 12, 13 Міжнародних науково-технічних конференціях «Автоматика-2005, 2006» (м. Харків, 2005 р., м. Вінниця, 2006 р.);

– XII Міжнародній науково-практичній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, м. Луганськ, 2007 р.);

– III Науково-практичній конференції «Перспективна техніка і технології -2007» (м. Миколаїв, 2007 р.);

– Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатроніка будівельних і дорожніх машин» (м. Харків, 2007 р.);

– спільному науковому семінарі кафедр колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова і електричного транспорту та тепловозобудування НТУ «ХПІ» (м. Харків, 2008 р.).

У повному обсязі робота доповідалась і була схвалена на:

– науковому семінарі кафедри колісних та гусеничних машин ім. О.О. Морозова НТУ «ХПІ» (м. Харків, 2009 р.);

– науковому семінарі «Інформаційні технології та інтелектуальні системи на транспорті» кафедр технології машинобудування та ремонту машин, технічної експлуатації та автомобільного сервісу, транспортних систем, автомобільної електроніки і мехатроніки автотранспортних засобів ХНАДУ (м. Харків, 2009 р.);

– засіданні науково-технічної ради Державного підприємства «Завод імені Малишева» (м. Харків, 2009 р.);

– засіданні науково-технічної ради Державного підприємства «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» (м. Львів, 2009 р.).

Публікації. За темою дисертації автором опубліковано 37 наукових статей у виданнях, що входять до Переліку ВАК України як фахові і 2 тези доповіді на міжнародних наукових конференціях.

Структура і об’єм роботи. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 478 сторінок, в тому числі 11 додатків на 155 сторінках, 112 рисунків і 11 таблиць. Список використаних джерел містить 342 найменування на 35 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета, задачі, об’єкт та предмет дослідження, описані застосовані методи дослідження та зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, надана загальна характеристика роботи.

У першому розділі проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури, присвяченої розробці КГМ спеціального призначення з ІКС і сформульовано висновки щодо найбільш актуальних проблем у цій сфері.

В теперішній час використання ІКТС для керування наземними транспортними засобами на загальному фоні збільшення їх кількості і якості є реальною необхідністю. Такі системи насамперед необхідні для транспортних засобів спеціального призначення, які працюють в умовах інтенсивних навантажень, складних умов експлуатації і підвищеної відповідальності механізмів.

Різними аспектами питань розроблення і синтезу ІКТС для КГМ займалися Александров Є.Є., Алексієв О.П., Бажинов О.В., Бодянський Є.В., Власов В.М., Говорущенко М.Я., Горшков В.І., Гостєв В.І., Грунауер А.А., Долгіх І.Д., Доля В.К., Епштейн О.С., Ємельянов С.В., Крутов В.І., Оліярник Б.О., Петров В.О., Подригало М.А., Рудзінський В.В. Рязанцев М.К., Теленик С.Ф., Haykin S., Holland J.H., Narendra K.S., Suykens A.K., Werbos P.J. та інші.

Подальший розвиток теорії і практики побудови систем автоматичного керування транспортним дизелем лежить на шляху створення інтегрованих цифрових систем керування агрегатами транспортних засобів з бортовими керуючими обчислювальними машинами, які реалізують підсистему керування цими агрегатами і, зокрема, дизелем. Задачею дослідників є розробка структури таких цифрових підсистем і їх параметричний синтез, тобто цілеспрямований вибір параметрів і констант алгоритмів керування. Тому створення високоефективних систем керування транспортним дизелем можливе лише шляхом використання штучного інтелекту.

Імітаційні методи моделювання, що отримали поширення в останній час в задачах управління, пред'являють якісно нові вимоги до рішення задач параметричної оптимізації. На заміну аналітичним непрямим прийомам обчислення оптимальних варійованих параметрів регуляторів усе активніше приходять чисельні алгоритми оптимізації. Досвід дослідження алгоритмів управління показав, що для досить простих одноконтурних систем керування з лінійними регуляторами задачі оптимізації, як правило, є одноекстремальними. Однак для складних багатоконтурних систем керування і систем керування з нейроконтролерами характерно поряд із глобальним наявність великого числа локальних екстремумів. Крім того, локальні екстремумі з'являються і при введенні обмежень на простір пошуку. У теперішній час найбільш кращими методами багатоекстремальної оптимізації є генетичні алгоритми, що реалізують постулати теорії еволюції і досвіду селекції рослин і тварин. Стратегія пошуку оптимального рішення в генетичних алгоритмах спирається на гіпотезу селекції: чим вище пристосованість особини, тим вище ймовірність того, що у нащадків, отриманих з її участю, ознаки, що визначають пристосованість, будуть виражені ще сильніше. Алгоритм у процесі пошуку використовує кодування множини параметрів замість самих параметрів, тому він може ефективно застосовуватися для рішення задач дискретної оптимізації, визначених як на числових множинах, так і на кінцевих множинах довільної природи.

В теперішній час однією з найбільш важливих є проблема підвищення ефективності керування взаємодією КГМ спеціального призначення, а також створення дистанційно-керуємих КГМ з ІКС. Поєднуючи геоінформаційні системи і ССМЗ, можна отримати потужну ІКС для рішення задач керування КГМ, що використовує просторові дані про місцевість і ССМЗ в інтересах задач підтримки прийняття рішень і моделювання поведінки КГМ у різних умовах.

Напрямки підвищення ефективності системи керування гальмами колісної машини знаходяться у площині розроблення цифрової електронної системи автоматичного керування на основі сучасної теорії керування, методів імітаційного моделювання, теорії випадкових функцій і процесів, а також елементів штучного інтелекту, як частини інтегрованої інформаційно-керуючої телематичної системи транспортного засобу.

За прогнозами фахівців сучасні вимоги, що пред'являються до систем стабілізації КГМ спеціального призначення вимагають застосування складних алгоритмів, що підвищить точність стабілізації, а саме, розробку інваріантних систем стабілізації зі змінною структурою і застосування інтелектуальних систем керування. Система зі змінною структурою залежно від обраного алгоритму і наявної інформації буде мати ту або іншу структуру. Можна припустити, що в такій системі вдасться поєднувати корисні властивості кожної сукупності структур, а також отримати нові властивості, не притаманні жодній з них. ШНМ реалізують свою обчислювальну потужність завдяки двом основним своїм властивостям: істотно паралельно розподіленій структурі та здатності навчатися і узагальнювати отримані знання. Під властивістю узагальнення розуміється здатність ШНМ генерувати правильні виходи для вхідних сигналів, які не були ураховані в процесі навчання (тренування). Ці дві властивості роблять ШНМ системою переробки інформації, що вирішує складні багатомірні задачі, непосильні іншим технікам.

Підсумовуючі все вищезазначене, можна припустити, що поєднання новітніх технологій ШНМ, ГА і елементів нечіткої логіки є найперспективнішими для рішення задач синтезу нелінійних багатоконтурних динамічних систем високого порядку, що знаходяться під впливом випадкових внутрішніх та зовнішніх збурень із заздалегідь невідомими параметрами, до яких і належать більшість автоматичних систем КГМ спеціального призначення.

Таким чином, у дисертаційній роботі вирішується науково-технічна проблема розроблення і синтезу інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення з покращеними технічними характеристиками на основі багатошарових ШНМ, методів еволюційного моделювання і ССМЗ, що має важливе значення для народного господарства України.

У другому розділі розроблена математична модель системи підресорювання для КГМ спеціального призначення на основі використання безперервного «кольорового» і «дробового» шумів в якості зовнішніх збурень, діючих на систему, що дозволяє визначити вплив дії пересіченої місцевості на КГМ спеціального призначення з ІКТС

$$\ddot{Z}_k(t) + \xi \cdot \dot{Z}_k(t) + a \cdot Z_k(t) + \nu \cdot \dot{\varphi}_k(t) + b \cdot \varphi_k(t) = A(t) + B(t); \qquad (1)$$

$$\ddot{\varphi}_k(t) + \delta \cdot \dot{\varphi}_k(t) + K \cdot \varphi_k(t) + \gamma \cdot \dot{Z}_k(t) + d \cdot Z_k(t) = C(t) + D(t), \qquad (2)$$

де $Z_k(t)$, $\varphi_k(t)$ – узагальнені координати, що характеризують вертикальні і повздовжно-кутові координати підресореної частини корпусу гусеничної машини;

$A(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $D(t)$ – функції часу, що характеризують зовнішні збурення на гусеничну машину із боку ґрунту, і визначаються наступними співвідношеннями:

$$A(t) = \frac{2g}{G}\sum_{i=1}^{n} c_i \cdot q_i(t); \qquad B(t) = \frac{2g}{G}(\mu_1 \dot{q}_1(t) + \mu_2 \dot{q}_2(t) + \mu_6 \dot{q}_6(t));$$
$$C(t) = \frac{2}{I_y}\sum_{i=1}^{n} c_i \cdot l_{Ti} \cdot q_i(t); \qquad D(t) = \frac{2}{I_y}(\mu_1 l_{a1} \dot{q}_1(t) + \mu_2 l_{a2} \dot{q}_2(t) + \mu_6 l_{a6} \dot{q}_6(t)), \tag{3}$$

де $q_i(t)$ – висота нерівності ґрунту під i-м катком у момент часу t при русі гусеничної машини зі швидкістю V;

G – вага підресореної частини корпусу гусеничної машини;

I_y – момент інерції підресореної частини корпусу гусеничної машини відносно її власної поперечної осі;

μ_j – коефіцієнт опору j-го амортизатора;

c_i – коефіцієнт жорсткості i-го торсіона;

l_{aj} – відстані по горизонталі від центра ваги підресореної частини корпусу гусеничної машини до місця кріплення j-го амортизатора;

l_{Ti} – відстань від центра ваги до осі j-го торсіона;

n – кількість торсіонів на один борт;

r – кількість амортизаторів на один борт;

g – прискорення вільного падіння.

Випадковий мікропрофіль задається у формі диференціального рівняння для формуючої динамічної ланки

$$T_1^{\,2}\ddot{q}(t) + T_2\dot{q}(t) + q(t) = k\,\xi(t), \tag{4}$$

де T_1 і T_2 – постійні часу передавальної функції динамічної ланки, що формує функцію $q(t)$ при подачі на її вхід збурення $\xi(t)$;

$k = \sqrt{D}$ – коефіцієнт підсилення;

D – дисперсія висот нерівностей.

Дробовий шум $\xi_S(t)$ задається як послідовність дельтаобразних імпульсів $(k = 1, 2, 3, \ldots)$

$$\xi_S(t) = \sum_k a_k \delta(t - t_k), \tag{5}$$

що мають наступні властивості:

а) кожна амплітуда a_k незалежно від інших амплітуд з набору $\{a_k\}$ підкоряється нормальному закону Гаусса з нульовим математичним очікуванням і дисперсією, рівною σ_S^2;

б) кожний з часових інтервалів $\tau_k = t_k - t_{k-1}$ між послідовними ударами $(k = 1, 2, 3, ...)$ є незалежною випадковою величиною і підкоряється експонентному закону з параметром (середнім інтервалом) τ, що погоджений із загальною кількістю ударів на всьому часовому інтервалі.

Білий шум $\xi_W(t)$ розглядається як межа послідовності дробових шумів $\{\xi_S(t)\}$, у яких кількість ударів K росте, а інтенсивність цих ударів σ_S^2 зменшується таким чином, що середня енергія за обраний інтервал часу залишається незмінної.

Для забезпечення енергетичної еквівалентності приймемо, що енергії збурень на всьому часовому інтервалі пошуку рішення збігаються. Таким чином, маємо

$$K\sigma_S^2 = N\sigma_W^2, \tag{6}$$

тому якщо задані три величини, то з (6) можна знайти значення четвертої.

На рис. 1-4 наведені результати імітаційного моделювання коливань корпусу гусеничної машини із збуренням у вигляді дробового і білого шуму.

Компоненти вектора стану, змінюючись під впливом імпульсів дробового шуму, в основному, перебувають в околиці рівноважної нульової точки. Такого роду поведінка системи визначається досить великим значенням декремента системи і малим часом загасання. В цілому, система перебуває в стаціонарній області. Зазначені властивості системи співпадають для шумів обох видів. Близькими виявилися і розміри стаціонарних областей.

Тому можна зробити висновок, що в задачах моделювання руху КГМ спеціального призначення по пересіченій місцевості можна застосовувати збурення, що ґрунтуються як на дробовому шумі, так і на білому в залежності від виду місцевості.

Рис. 1. Реалізації дробового шуму при $K = 50$ (ліворуч) и білого шуму (праворуч)

Рис. 2. Фазові карти рішення рівнянь (1-3) із дробовим і білим шумом у правій частині в змінних $Z_k(t), \dot{Z}_k(t)$

Рис. 3. Фазові карти рішення рівнянь (1-3) із дробовим і білим шумом у правій частині в змінних $\varphi_k(t), \dot{\varphi}_k(t)$

Рис. 4. Кумуляти амплітуд $Z_k(t)$ і $\varphi_k(t)$ для випадків дробового (——) і білого (·····) шумів

В реальних умовах КГМ спеціального призначення рухається не по мікропрофілю дороги, а по поверхні, тому заміна руху трьохмірного об'єкта по поверхні рухом двомірного об'єкта по профілю дороги є надмірним спрощенням моделі, що може привести до значних розбіжностей між імітаційним моделюванням і реальністю. По-друге, використання ІКТС, ГІС-систем, супутникового зв’язку вимагає проводити обробку даних і візуалізацію в 3D форматі. Тому при моделюванні місцевості ймовірнісним методом необхідно використовувати 3D моделі місцевості з заданими характеристиками.

Розглянемо інтегральний квадратичний функціонал, оснований на дійсному нормальному марківському двомірному полі (НМД-поле) $H(x, y)$

$$J(H) = \int_0^a \int_0^b h^2(x, y)\,dx\,dy, \tag{7}$$

де $h = h(x, y)$ – реалізація гаусового двомірного поля $H(x, y)$ в прямокутній області $x \in [0, a]$, $y \in [0, b]$ на площині. Визначальною властивістю стаціонарного НМД-поля, що розглядається, є його корелятор

$$K_{XY}(x, y; x', y') = \mathrm{E}_{\mathrm{H}}\, h(x, y)\, h(x', y') = pq\sigma_{\mathrm{H}};$$

$$p = \exp(-\nu |x - x'|), \qquad q = \exp(-\mu |y - y'|),$$

де $\mathrm{E}_{\mathrm{H}}\,.[\,.]$ – оператор математичного очікування;

$\sigma_{\mathrm{H}} = \mathrm{E}_{\mathrm{H}}\, h^2(x, y)$ – інтенсивність поля;

ν і μ – декременти загасання поля по осях X і Y відповідно.

Узагальненням відомих конструкцій – перехідних щільностей ймовірностей для нормального марківського процесу Орнштейна-Уленбека (ОУ-процесу) – може служити наступна перехідна щільність розподілу ймовірностей для НМД-поля

$$f_{\mathrm{H}}(h(x, y), h(x', y), h(x, y'), h(x', y')) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1 - p^2)(1 - q^2)}\,\sigma_{\mathrm{H}}} \times$$

$$\times \exp\left\{ -\frac{h(x, y) - ph(x', y) - qh(x, y') + pqh(x', y')^2}{2(1 - p^2)(1 - q^2)\,\sigma_{\mathrm{H}}} \right\}. \tag{8}$$

Користуючись відомими для випадку ОУ-процесу правилами дискретизації у вузлах прямокутної решітки і перенормування породжуючого поля $u(x, y)$, можна побудувати числовий алгоритм генерації НМД-поля. Цей ієрархічний алгоритм генерації відліків у вузлах випадкового нормального стаціонарного марківського поля в прямокутній області площини можна подати такими чотирма кроками:

Крок 1. Генерація відліку у вершині

$$h_{0,0} = \sqrt{\sigma_H}\, u_{0,0}.$$

Крок 2. Генерація відліків процесу вздовж *X*-межі прямокутника ($j > 0$)

$$h_{j+1,0} = ph_{j,0} + \sqrt{(1 - p^2)\sigma_H}\, u_{j+1,0}.$$

Крок 3. Генерація відліків процесу вздовж *Y*-межі прямокутника ($k > 0$)

$$h_{0,k+1} = qh_{0,k} + \sqrt{(1 - q^2)\sigma_H}\, u_{0,k+1}.$$

Крок 4. Послідовне заповнення відліками внутрішніх вузлів прямокутника ($j > 0, k > 0$)

$$h_{j+1,k+1} = ph_{j,k+1} + qh_{j+1,k} - pqh_{j,k} + \sqrt{(1 - p^2)(1 - q^2)\sigma_H}\, u_{j+1,k+1}.$$

У наведеному алгоритмі

$$p = \exp(-\nu\Delta_x); \qquad q = \exp(-\mu\Delta_y),$$

де ν і μ – парціальні декременти;

Δ_x і Δ_y – кроки вузлів по осях X і Y відповідно.

При проведенні чисельних експериментів були отримані такі результати. Моделювання проводилося в прямокутній області $x \in [0,10], y \in [0,10]$. На рис. 5 приведені дві реалізації випадкового НМД-поля, що відрізняються тільки значенням інтенсивності поля (випадок а, б). На рисунку добре проглядається динаміка формування флуктуацій НМД-поля по обох координатах. На рис. 6 зображений вихідний регулярний профіль $s(x, y) = \sin(x) \cdot \cos(y)/2$. При адитивному накладенні випадкового поля (рис. 5,а) на регулярний профіль (рис. 6) отримана поверхня $p(x, y) = s(x, y) + h(x, y)$, яка приведена на рис. 7.

а) б)

Рис. 5. Реалізації випадкового нормального марковского поля в області $x \in [0,10], y \in [0,10]$

Рис. 6. Вихідний регулярний профіль $s(x, y) = \sin(x) \cdot \cos(y)/2$

Рис. 7. Адитивне накладання випадкового на вихідний регулярний профіль

Також розроблено алгоритм генерації двомірного дробового поля на основі опису дробового шуму. На рис. 8 приведені дві реалізації випадкового дробового поля для різних значень кількості ударів K. На рисунку добре проглядається динаміка формування флуктуацій по обох координатах, що погоджується з результатами моделювання дробового шуму 2D.

а) б)

Рис. 8. Реалізації випадкового дробового поля в прямокутній області при $K = 50$ (а), $K = 150$ (б)

У третьому розділі розроблено функціональну схему (рис. 9) і математичну модель системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД і 6ТД з нейроконтролером для колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

Рис. 9. Функціональна схема електронної системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД і 6ТД з нейроконтролером:
ПК – педаль керування подачею палива; ДПП – датчик положення педалі керування подачею палива; ПДПП, ПДПР – підсилювачі датчиків положення педалі керування подачею палива та рейки паливного насосу, П – підсилювач блоку керування; ВО – електрогідравлічний виконавчий орган; ЕК – електромагніт керування; ГС – гідравлічний сервомотор; Д – дизель; ДПР – датчик положення рейки паливного насосу; ДКШ – датчик кутової швидкості обертання колінчастого валу; НК – нейроконтролер

У загальному випадку поняття «штучна нейронна мережа» охоплює ансамблі нейронів будь-якої структури, однак практичне застосування знайшли тільки деякі з них. Це пояснюється тим, що архітектура ШНМ безпосередньо пов'язана з методом її навчання. На рис. 10 наведена трьохрівнева архітектура багатошарової ШНМ прямої дії.

Запропоновано методику вибору архітектури ШНМ, що полягає в наступному. Спочатку побудуємо мережу, що складається з одного нейрона в першому шарі і α нейронів у другому (вихідному) шарі. Далі додаються нейрони, при цьому кожний нейрон повинен поліпшувати загальну якість системи керування (СК). Якість СК оцінюється за допомогою помилки, усередненої по всіх прикладах і по всіх виходах

$$E'' = \frac{1}{M-\alpha-T} \cdot \frac{1}{\alpha} \sum_{n=T}^{M-\alpha} \sum_{h_K=1}^{\alpha} \left| e_{h_K}(n) \right|, \tag{9}$$

де $e_{h_K}(n)$ – помилка h_K-го нейрона вихідного K-го шару ШНМ, що отримана на n-м прикладі; $n \in T, \ldots, M-\alpha$.

На рис. 11 представлена схема нейромережевої системи керування (НСК), на вхідний шар якого надходять сигнал зовнішнього завдання $u_r(k)$ і сигнал зворотного зв'язку по виходу об'єкта $\omega(k)$ на k-му кроці, а також затриманий сигнал зворотного зв'язку $\omega(k-1)$ на попередньому кроці.

Закон керування, що реалізує нейроконтролер

$$u_y(k) = НК(\varepsilon(k), \omega(k), \omega(k-1)); \quad \varepsilon(k) = u_r(k) - \varphi(k+1), \tag{10}$$

де $\omega(k)$ і $\omega(k-1)$ – сигнал зворотного зв'язку по швидкості на k-ом і $k-1$-ом кроці відповідно;

$\varphi(k+1)$ – величина кута;

ε – помилка по куту відхилення від завдання.

Рис. 10. Архітектура багатошарової ШНМ прямої дії

Рис. 11. Система керування с дискретним нейроконтролером

Якість роботи НСК будемо оцінювати по запропонованому функціоналу

$$I = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\frac{1}{k_T}\sum_{k=1}^{k_T}\left(E\cdot t_k + \gamma\frac{E}{t_k+\varepsilon}\right);\ E = \left[\omega_i - u_r^i\right]^2\cdot t_k,\ t_{k+1} = t_k + \Delta_u, \quad (11)$$

де $\varepsilon = 0.01$ – малий параметр, що вводиться для забезпечення безперервності функціонала;

γ – ваговий коефіцієнт, що визначається експериментально.

На рис. 12 наведено типові розрахункові динамічні процеси для стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля при русі КГМ спеціального призначення по середньопересіченій місцевості для однієї і тієї ж реалізації випадкового збурення M_H при цьому оцінки $|\Delta h_{\max}|$ і $|\Delta\omega_{\max}|$, що наведені на рисунках, відхиляються від $M|\Delta h_{\max}|$ і $M|\Delta\omega_{\max}|$ (табл. 1) не більш як на 2%. Об'єм статистичної вибірки при розрахунках математичних очікувань складав 10^4. Навчання НК проводилося за допомогою алгоритму зворотного поширення, модифікованого ГА і модифікованого ГА сумісно з алгоритмом зворотного поширення.

а) для штатного блоку керування

б) блоку керування з НК, навченому за допомогою модифікованого ГА + алгоритм зворотного поширення

Рис. 12. Динамічні процеси стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля 6ТД

Аналіз наведених динамічних процесів, а також чисельні дослідження, дозволяють зробити висновок про те, що введення до контуру керування НК дозволяє зменшити коливальність рейки паливного насосу Δh та кутової швидкості обертання колінчастого валу $\Delta\omega$ до 35% (при цьому відносна вибіркова дисперсія не перевищила 5%), тобто дозволяє підвищити точність роботи і паливну економічність дизеля. Крім цього СК з НК, навченим за допомогою модифікованого ГА, як видно з рис. 12,б, дозволяють зменшити низькочастотні коливання Δh і, відповідно, величини $\Delta\omega$, що говорить, безумовно, про якість СК з НК.

В табл. 1 наведено численні дані проведених розрахунків для системи паливоподавання транспортного дизеля 6ТД.

Таблиця 1

Дані розрахунків для системи паливоподавання транспортного дизеля 6ТД

№	Алгоритми керування (навчання)	$M\left\|\Delta h_{max}\right\|$, м	$M\left\|\Delta\omega_{max}\right\|$, c^{-1}	$M\left[\int_0^T \Delta\omega^2 \, dt\right]$	$M\left[\int_0^T \Delta h^2 \, dt\right] \times 10^6$
1	Штатний блок керування	0,00121	1,803	34,827	15,647
2	НК (зворотного поширення)	0,00090	1,512	32,719	11,635
3	НК (модифікований ГА)	0,00084	1,379	14,883	5,491
4	НК (модифікований ГА + зворотного поширення)	0,00078	1,289	12,424	4,612

Результати проведених досліджень підтверджують ефективність стимульованого навчання НК з затримкою на базі ГА. Стрибкоподібні тренувальні сигнали гарантують синтез НК з малою статичною помилкою, однак для забезпечення НК необхідних динамічних характеристик у тренувальні сигнали необхідно включати гармонічні складові. Завдяки універсальним апроксимаційним властивостям ШНМ, синтезовані СК змогли адаптуватися до об’єкту керування.

Також доведено, що необхідний обсяг обчислень і структура НК залежать не стільки від ступеня нелінійності, скільки від порядку об’єкта керування.

Позитивною властивістю СК з НК є низька чутливість до відходу параметрів від заданих (номінальних, оптимальних), що значно спрощує настроювання НК і підвищує стійкість роботи в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Істотна розподільність (паралельність) обчислювального процесу в ШНМ забезпечує підвищену, у порівнянні із традиційними контролерами, надійність СК, тому що якість роботи СК з НК погіршується з ростом кількості пошкоджень поступово. Вихід нейронів НК із робочого стану або обрив зворотних зв'язків також не приводять до миттєвих руйнівних процесів на відміну від традиційних контролерів. Це особливо важливо для важких умов роботи на борту КГМ спеціального призначення, де на ІКТС постійно діють випадкові зовнішні і внутрішні збурення при русі КГМ спеціального призначення по пересіченій місцевості, а також можливі навмисні завади.

Випробування транспортних дизелів 3ТД і 6ТД здійснювалось на комплексному дослідницькому стенді ХКБМ ім. О.О. Морозова, який відтворює реальні навантаження, що діють на ведучі колеса КГМ при його русі по пересіченій місцевості. Структурна схема комплексного дослідницького стенду приведена на рис. 13.

Рис. 13. Структурна схема комплексного дослідницького стенду:
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; КПП, КПЛ – коробки передач правого і лівого бортів; БРП, БРЛ – бортові редуктори правого і лівого бортів; НПП, НПЛ – навантажувальні пристрої правого і лівого бортів;

ПО – пульт оператора; ІВС – інформаційно-вимірювальна система

У четвертому розділі розроблено структурні схеми системи з нейроконтролером для системи керування антенною установкою системи супутникового мобільного зв’язку колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Вирішено задачу вибору типу і архітектури штучної нейронної мережі, а також функціоналу якості для об’єкта керування. Розроблено програмне забезпечення для побудови нейроконтролера. Проведено навчання нейроконтролера за допомогою генетичного алгоритму і алгоритму зворотного поширення. На основі розроблених методик, алгоритмів і програмного забезпечення синтезована високоефективна система керування антенною установкою системи супутникового мобільного зв’язку колісних та гусеничних машин спеціального призначення з нейроконтролером в контурі керування.

На рис. 14 приведена розроблена структурна схема СК силовим слідкуючим приводом (ССП) антенними установками (АУ) з НК. Порівняно зі структурною схемою СК ССП АУ з підлеглим керуванням в наведеній схемі відсутній контур зворотного зв'язку по струму, а також регулятори (коефіцієнти підсилення) контуру швидкості і струму. Замість цих регуляторів в систему введено НК. На рис. 15 представлена розроблена структурна схема СК ССП АУ з НК без контуру зворотного зв'язку по струму і швидкості. Для вищезазначеного НК була вибрана дворівнева архітектура ШНМ прямої дії: число виходів – 1, розмірність внутрішнього шару – 10. Навчання НК проводилося за допомогою ГА (структурна схема на рис. 14) і алгоритму зворотного поширення (структурна схема на рис. 15).

Рис. 14. Структурна схема системи керування силовим слідкуючим приводом антенними установками з НК (без контуру струму)

Рис. 15. Структурна схема системи керування силовим слідкуючим приводом антенними установками з НК (без контуру струму і швидкості)

Результати експериментів показали, що ССП АУ з НК є більш надійним завдяки своїм згладжувальним якостям сигналу керування, а також завдяки тому, що при використанні НК можна спростити систему, наприклад, відкинути деякі зворотні зв’язки без погіршення її роботи в цілому.

Розроблено математичну модель і інформаційні карти прийому-передачі інформації в системах супутникового мобільного зв’язку, які знаходяться під дією багатомодової перешкоди, для керування взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення спеціального призначення.

Корисний сигнал має вигляд

$$A_u(t) = \sqrt{2S}\cos(\omega_c t + \lambda), \qquad (12)$$

де S – потужність корисного сигналу;

ω_c – кругова частота корисного сигналу;

$\lambda = 2\pi\, \mathrm{r}/M$, $1 \le r \le M$; M – число положень фаз при фазовій модуляції.

Перешкода описується наступним чином

$$A_i(t) = \sum_{j=1}^{K} \sqrt{2I_j} \cos(\omega_j t + \lambda_j + \mu_j), \tag{13}$$

де K – кількість джерел перешкод;

I_j – потужність j-го сигналу джерела перешкод;

ω_j – кругова частота j-го сигналу джерела перешкод $\lambda_j = 2\pi\, r_j / M$, $1 \le r_j \le M$;

μ_j – величина фазового кута j-го сигналу джерела перешкод, випадково і рівномірно розподілена в інтервалі $(0, 2\pi)$, λ_j і μ_j взаємно незалежні.

Формула розрахунку імовірності помилки $P_{пом}$ при прийомі в точці регіону з координатами (x, y) в умовах множинних перешкод має вигляд

$$P_{пом} \equiv P_{пом}(\rho; x, y; C) = \mathrm{M}\left[\mathrm{erfc}\left(\rho \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) + \rho\, Z\right)\right]; \ \mathrm{erfc}(\beta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\beta}^{\infty} \exp(-t^2)\, dt, \tag{14}$$

де ρ^2 – величина відношення сигнал/шум по потужності в точці прийому;

x, y – координати точки прийому;

$C = C_u \cup C_i$ – параметри конфігурацій ССМЗ;

C_u – конфігурація корисної ССМЗ;

C_i – конфігурація ССМЗ, що є перешкодою.

Для аналізу впливу параметрів ССМЗ на якість прийому-передачі інформації, а також синтезу ССМЗ в цілому розроблені алгоритми і пакет програм розрахунку регіональних карт ймовірності помилки при прийомі-передачі інформації в цифрових ССМЗ.

На рис. 16 і 17 наведено дві групи, кожна з яких містить три інформаційні імовірнісні карти для $P_{пом}(x, y)$ (а, б, в), що відповідають географічним регіонам з розмірами (-5°;5°) по довготі і (-5°;5°) по широті. У першій групі (рис. 16) чотири супутника-космічних станцій (КС) розташовані на орбіті (3.5°з.д., 1.5°з.д., 3.5°в.д., 1.5°в.д. відповідно). Перші три націлені в точки з координатами (2.5°півд.ш., 3.0°з.д.), (2.5°півн.ш., 0.0°в.д.), (2.5°півд.ш., 3.0°в.д.). Індикатриси антен КС становить 0.5°. Четверта КС відсутня у варіанті а, а при розрахунку варіанта б и в має координати націлювання (1.5°півд.ш., 0.0°в.д.), при цьому індикатриса антени цієї КС збільшується від 0.3° до 0.4°. З рис. 16 чітко випливає, що перешкодостійкість ССМЗ обстановка істотно залежить від її конфігурації.

На другій групі (рис. 17) показана та ж ССМЗ з тими ж характеристиками, як і вище, але як ціле зміщена на 20.0° на північ. Хоча на такій широті тріангуляційні скривлення не настільки значні, як на більш високих широтах, вигляд інформаційних карт $P_{пом}(x, y)$ помітно змінився, що пов'язане зі збільшенням проекцій зон опромінення в широтному напрямку. Видно, що, по-перше, збільшено границі взаємовпливу, по-друге, цей вплив більше виражено у КС з однаковою довготою. З ростом широти цей вплив ще більш підсилюється. На підставі наведених рисунків можна зробити висновок про те, що перешкодостійкість обстановки істотно змінюється при введенні в регіон додаткової КС, тим більше розташованої між вже існуючими.

З наведених рисунків видно, що є можливість надійного інформаційного забезпечення при передачі із КС, що і має місце на практиці. Важливим виявляється та обставина, що між зонами впевненого прийому розташовуються проміжні зони, прийом у яких завжди гірше внаслідок взаємовпливу передавачів. Зменшити ці зони інформаційної недостатності при одночастотному режимі передачі можливо лише шляхом поліпшення кутової вибірковості приймача, однак це пов’язано з труднощами технічної реалізації.

Побудовані ефективні методи оперативної маршрутизації для навігаційного комплексу на основі синтезу інформаційних карт перешкодостійкості систем супутникового мобільного зв’язку для забезпечення управління взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення на базі варіаційних методів. Тоді задачу можна звести до знаходження траєкторії S, що мінімізує функціонал

$$J = \int_{x_1}^{x_2} f(x, y, y'_x)\,dx = \int_{x_1}^{x_2} h(x, y)\sqrt{1 + y'^2_x}\,dx, \qquad (15)$$

де $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$ – відповідно вихідний і кінцевий пункт руху КГМ;

$h(x, y) = \lg P_{пом}(x, y)$; $P_{пом} = N_{пом}/N_{заг}$;

$N_{пом}$ – число помилкових випадків прийому інформації;

$N_{заг}$ – загальне число таких випадків.

а) б) в)

Рис. 16. Карти ймовірності помилки цифрової ССМЗ екваторіального регіону

а) б) в)

Рис. 17. Карти ймовірності помилки цифрової ССМЗ північного регіону (20.0°п.ш.)

Запропоновані методи дозволяють значно зменшити середнє число помилок прийому-передачі інформації на розрахованих маршрутах руху в залежності від конфігурації систем супутникового мобільного зв’язку, а також початкових і кінцевих пунктів руху.

У п’ятому розділі синтезовано цифрову систему керування гальмами колісної машини спеціального призначення на основі запропонованого електрогідравлічного перетворювача (ЕГП) на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, що надає можливість підвищити точність, швидкодію, енергоефективність і завадостійкість цих систем.

Інтеграція гідравлічних пристроїв та електронних систем керування дозволяє вирішувати задачі підвищення якості процесів керування, адаптивного налаштування та підтримки параметрів або структури системи при дії на об’єкт керування випадкових збурень, діагностики відмов та несправностей при збереженні відносно невеликих маси та габаритів комплексу «привод-система керування», що особливо важливо при їх експлуатації у складі КГМ спеціального призначення.

Порівняльний аналіз різних схемних рішень ЕГП вітчизняного та закордонного виробництва дозволив виявити переваги та недоліки ЕГП різних типів. Робота гідравлічних систем КГМ спеціального призначення характеризується наявністю ударів та вібрацій, підвищеної запиленості зовнішнього середовища, значним перепадом температур, як зовнішнього середовища, так і в відділеннях машини, внаслідок роботи вузлів та агрегатів, взаємним впливом електромагнітних полів електроприладів, внаслідок щільності монтажу обладнання та іншими несприятливими факторами. Враховуючі вищезазначені фактори та проведений аналіз ЕГП можна сказати, що для використання у складі мобільних машин найбільше підходять ЕГП на базі елементу сопло-заслінка та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, а також ЕГП на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря.

Розроблений за участю автора ЕГП на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря (рис. 18) містить регульований елемент сопло-заслінка, заслінка (7) якого звернена до одного з торців сопла (1); штовхач (6), встановлений з можливістю переміщення в каналі (5) сопла (1), який зв’язаний через дросель (14) постійного перетину з каналом (15) подачі робочої рідини; електрокеруємий зворотний клапан, включений між каналом (5) сопла (1) та дроселем (14) постійного перетину. Запірний елемент (3) зворотного клапана, опертий на нерухоме сідло (4), розміщене на торці сопла (1), протилежному торцю, зверненому до заслінки (7). З іншого боку запірний елемент (3) зворотного клапана підпружинений пружиною (13). Електромеханічний перетворювач (8) виконаний у вигляді пропорційного електромагніта, який містить котушку (9), якір (10), штовхач (11).

Рис. 18. Схема ЕГП на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря

У вихідному положенні заслінка (7) встановлена відносно сопла (1) на відстані *L*, більшій робочого хода *b* регулювання елемента сопло-заслінка та меншій або рівній максимальному ходу δ якоря (10) електромагніта (8). Канал (2) регульованого тиску з'єднаний з виконавчим пристроєм (не зображений), в якому необхідно регулювати тиск (зусилля) пропорційно електричному сигналу керування. Канал (12) зливу з'єднаний зі зливом.

Основними перевагами ЕГП базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніта з поступальним рухом якоря є відносна простота конструкції, невисока чутливість до зовнішніх магнітних полів та механічних вібрацій, відносно невисокі вимоги до класу чистоти робочої рідини, висока потужність вихідного сигналу, що дозволяє керувати безпосередньо виконавчим механізмом, відсутність непродуктивної витрати робочої рідини через сопла при відсутності сигналу керування, закритість каналу сопла, що забезпечує можливість запирання каналу регульованого тиску та порожнин пов'язаних з ним, а також зміни тиску управління від максимальних значень до мінімальних.

Передавальна функція безперервної частини замкненої цифрової системи керування гальмами колісної машини спеціального призначення може бути подана як

$$W_{\text{БЧ}}(s) = \frac{k_{\alpha} k_{\text{ем}} k_{\text{рц}}}{s^2 \left(T_y s + 1\right)\left(T_{1p}^2 s^2 + T_{2p} s + 1\right) + k_{\text{ем}} k_{\text{рц}} k_{\text{зз}}}, \tag{16}$$

де k_a – коефіцієнт підсилення автомобіля, як об'єкту керування;

$k_{\text{ем}}$ – коефіцієнт підсилення електромагніту гідророзподільного блоку;

$k_{\text{рц}}$ – коефіцієнт підсилення робочого циліндра;

$k_{\text{зз}}$ – коефіцієнт підсилення датчика тиску гальмівної рідини;

T_y, T_1, T_2 – постійні часу обмотки керування і ротора електромагніту.

Електронний цифровий блок керування реалізує алгоритм стабілізації корпусу автомобіля у вигляді

$$U(nT_0) = k_{\psi} \cdot \psi(nT_0) + k_{\dot{\psi}} \cdot \omega_z(nT_0), \tag{17}$$

де k_{ψ} і $k_{\dot{\psi}}$ – варійовані константі алгоритму.

В площині варійованих констант алгоритму (17) k_{ψ} і $k_{\dot{\psi}}$ побудовано область стійкості замкненої дискретної системи стабілізації напрямку руху автомобіля. При знаходженні робочої точки системи в області стійкості рух автомобіля є стійким.

Далі для синтезу системи необхідно знайти оптимальні значення варійованих констант алгоритму k_{ψ}, $k_{\dot{\psi}}$. Оберемо адитивний функціонал J у вигляді і знайдемо значення k_{ψ}, $k_{\dot{\psi}}$

$$J_1 = \int_0^T \psi^2 \, dt; \quad J_2 = \int_0^T \dot{\psi}^2 \, dt;$$
$$J = \beta_1^2 J_1 + \beta_2^2 J_2 = \int_0^T \beta_1^2 \psi^2 + \beta_2^2 \dot{\psi}^2 \, dt. \tag{18}$$

В результаті отримаємо оптимальні значення $k_\psi^* = 14.67$ В і $k_{\dot{\psi}}^* = 2.73$ В·с. На рис. 19 а приведений перехідний процес зміни куту відхилення продольної вісі автомобіля від заданого напрямку при $k_\psi = 120$ В; $k_{\dot{\psi}} = 4$ В·с (стартова точка пошуку оптимального рішення). З аналізу рисунку можна зробити висновок, що перехідний процес продовжується близько 1.5с. На рис. 19 б приведений перехідний процес при оптимальних значеннях коефіцієнтів підсилення $k_{\dot{\psi}} = k_{\dot{\psi}}^*$, $k_\psi = k_\psi^*$. Аналіз рисунку приводить до висновку, що перехідний процес в останньому випадку скорочується до 1с.

а) б)

Рис. 19. Перехідні процеси в замкнений цифровій системі керування гальмами автомобіля: а – стійкій; б – оптимальний

Розроблено електрогідравлічну систему керування навісним обладнанням колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання багатофункціонального пропорційного ЕГП, що надає можливість інтеграції цих систем до інформаційно-керуючих телематичних системи колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

Також розроблений багатофункціональний пропорційний ЕГП доцільно застосувати в наступних системах, агрегатах і вузлах дорожніх транспортних засобів: системи адаптивного натягу гусениць тракторів, фрикційні амортизатори зі змінним моментом опору, об’ємні гідропередачі з пропорційним електрогідравлічним керуванням витратою та тиском, механічні трансмісії з електрогідрокеруванням, а також різноманітні приводи в комунальних, дорожньо-будівельних, ремонтно-евакуаційних машинах та ін.

Розроблено алгоритми ідентифікації та контролю датчиків кутової швидкості в інтегрованих ІКТС КГМ спеціального призначення. Аналіз таких інтегрованих систем КГМ спеціального призначення, а також чисельні дослідження, дозволяють зробити висновок про те, що введення даних алгоритмів дозволяє забезпечити працездатність і підвищити надійність таких систем.

У шостому розділі запропоновано раціональний підхід до дослідження електрогідравлічних інваріантних виконавчих механізмів, які керуються електронними мікропроцесорними системами побудованими з нейроконтролером. Цей підхід обґрунтований тим, що існує прямий зв'язок між зовнішніми випадковими збуреннями, що діють на шток гідродвигуна, та збуреннями тиску в порожнинах гідродвигуна.

Розроблено стенд для експериментального дослідження електрогідравлічних виконавчих механізмів зі зворотнім зв'язком по тиску та мікропроцесорним керуванням з нейроконтролером. Як базова установка для досліджень використовується випробувальний стенд ВС Р*6,3 в ЗАО «Гідроапаратура» м. Харків. В якості мікропроцесора використовувався 8-розрядний мікропроцесор RISC-архітектури. Можна також використовувати більш потужні 16-розрядні мікропроцесори.

Синтезовано нейроконторолер для експериментальних установок за допомогою нейроемулятора інтегрованої інформаційно-керуючої телематичної системи колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

Для модернізованої системи керування гальмами колісної машини розроблено окремий цифровий блок керування, на якому за допомогою обладнання Державного підприємства «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» проведено експериментальні дослідження.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили результати теоретичних досліджень і тим самим ефективність використання інтелектуальних систем керування в інтегрованих інформаційно-керуючих системах колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів. На основі експериментальних досліджень здійснено тестування і корекція алгоритмічних та програмних засобів нейроконтролера.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз науково-технічної і патентної літератури з питань створення автоматичних та інформаційно-керуючих систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення дозволяє зробити висновок про те, що сучасні цифрові автоматичні та інформаційно-керуючі системи таких машин з високими технічними характеристиками можуть бути побудовані з використанням розвиненої математичної моделі об'єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об'єкт. Для параметричного синтезу таких систем необхідно застосовувати інваріантні інтелектуальні системи зі змінною структурою на основі теорії штучних нейронних мереж та генетичних алгоритмів, тому що існуючі системи з ПІД-регуляторами вже не в змозі задовольнити сучасним вимогам, які пред'являються до автоматичних і інформаційно-керуючих систем колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Застосування інформаційно-керуючих телематичних систем таких машин на основі штучних нейронних мереж і методів еволюційного моделювання дозволить якісно підвищити їх точність, функціональну і структурну надійність, якість динамічних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів і внутрішніх та зовнішніх збурюючих дій, а також знизити навантаження на екіпаж.

2. Розроблена математична модель системи підресорювання для колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання без-

перервного «кольорового» і «дробового» шумів в якості зовнішніх збурень, діючих на систему, що дозволяє визначити вплив дії пересіченої місцевості на колісні та гусеничні машини спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами.

3. Розроблені 3D моделі місцевості, заснованих на дійсному нормальному марківському полі, що надає можливість підвищити якісний рівень математичних моделей колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами. Запропонований підхід дозволяє змоделювати практично будь-яку 3D місцевість із заданими характеристиками і проаналізувати роботу систем керування колісних та гусеничних машин на різних експлуатаційних режимах, а також використовувати розраховані 3D моделі місцевості для геоінформаційних програм інформаційно-керуючих телематичних систем.

4. Розроблено функціональну схему системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД і 6ТД з нейроконтролером для колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Запропоновано методику вибору архітектури штучної нейронної мережі. Вирішена задача вибору функціоналу якості для об’єкта керування. Доведено, що при прийнятих допущеннях динамічно-статична модель штучної нейронної мережі буде еволюціонувати убік зменшення енергетичної функції, а перехідний процес завершиться у стаціонарному стійкому стані, що відповідає одному з локальних (у загальному випадку) мінімумів цільової функції. Розроблено програмне забезпечення для побудови нейроконтролерів. Проведено навчання нейроконтролерів трьома методами. Найбільш ефективним виявився метод, що поєднує модифікований генетичний алгоритм і алгоритм зворотного поширення. На основі розроблених методик, алгоритмів і програмного забезпечення синтезована високоефективна система паливоподавання транспортних дизелів 3ТД і 6ТД з нейроконтролером в контурі керування для колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

5. Розроблено структурні схеми системи з нейроконтролером для системи керування антенною установкою системи супутникового мобільного зв’язку колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Вирішено задачу вибору типу і архітектури штучної нейронної мережі, а також функціоналу якості для об’єкта керування. Розроблено програмне забезпечення для побудови нейроконтролера. Проведено навчання нейроконтролера за допомогою генетичного алгоритму і алгоритму зворотного поширення. На основі розроблених методик, алгоритмів і програмного забезпечення синтезована високоефективна система керування антенною установкою системи супутникового мобільного зв’язку колісних та гусеничних машин спеціального призначення з нейроконтролером в контурі керування. Введення до контурів керування нейроконтролера дозволяє спростити систему керування і підвищити її надійність, що особливо важливо для колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

6. Розроблено математичну модель і інформаційні карти прийому-передачі інформації в системах супутникового мобільного зв'язку, які знаходяться під дією багатомодової перешкоди, для керування взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення спеціального призначення. Запропоновані критерії якості систем супутникового мобільного зв'язку на основі регіональних інформаційних карт ймовірності помилки при прийомі-передачі інформації для синтезу високоефективних систем керування антенних установок колісних та гусеничних машин спеціального призначення і в цілому системи зв'язку. Для синтезу високоефективних систем супутникового мобільного зв'язку в цілому доцільно використовувати штучні нейронні мережі і методи еволюційного моделювання.

Побудовані ефективні методи оперативної маршрутизації для навігаційного комплексу на основі синтезу інформаційних карт перешкодостійкості систем супутникового мобільного зв'язку для забезпечення управління взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Методи дозволяють значно зменшити середнє число помилок прийому-передачі інформації на розрахованих маршрутах руху в залежності від конфігурації систем супутникового мобільного зв'язку, а також початкових і кінцевих пунктів руху.

7. Запропоновано раціональний підхід до дослідження електрогідравлічних інваріантних виконавчих механізмів, які керуються електронними мікропроцесорними системами побудованими з нейроконтролером. Такі виконавчі механізми використовуються в контурах керування: паливоподавання двигунів внутрішнього згорання, гальмами, стабілізації антени супутникового зв'язку, а також різноманітними маніпуляторами колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

8. Синтезовано цифрову систему керування гальмами колісної машини спеціального призначення на основі запропонованого електрогідравлічного перетворювача на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря, що надає можливість підвищити точність, швидкодію, енергоефективність і завадостійкість цих систем. Запропоновано електрогідравлічну систему керування навісним обладнанням колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання багатофункціонального пропорційного електрогідравличного перетворювача, що надає можливість інтеграції цих систем до інформаційно-керуючих телематичних системи колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Розроблено алгоритми ідентифікації та контролю датчиків кутової швидкості в інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних системах колісних та гусеничних машин спеціального призначення.

9. Розроблено стенд для експериментального дослідження електрогідравлічних виконавчих механізмів зі зворотним зв'язком по тиску та мікропроцесорним керуванням з нейроконтролером. Експериментальні дослідження підтвердили результати теоретичних досліджень і тим самим ефективність використання інтелектуальних систем керування в інтегрованих інформаційно-

керуючих системах колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів. На основі експериментальних досліджень здійснено тестування і корекція алгоритмічних та програмних засобів нейроконтролерів.

10. Результати моделювання системи паливоподавання транспортних дизелів 3ТД і 6ТД показали, що навчений нейроконтролер при введенні його до контуру керування дозволяє зменшити коливальність рейки паливного насосу та кутової швидкості обертання колінчастого валу до 35%, тобто підвищити точність роботи і паливну економічність дизеля. Експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних розрахунків для системи керування паливоподаванням дизелів 3ТД і 6ТД.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Никонов О.Я. Исследование эффективности антенных систем земных станций спутниковой связи / О.Я. Никонов // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 3. – С. 42-43.

2. Никонов О.Я. Оценка влияния кратности фазовой модуляции на качество приема-передачи информации в цифровых системах спутниковой связи / О.Я. Никонов // Сб. науч. тр. «Радиотехника». – Харьков: ХТУРЭ, 1999. – Вып. 109. – С. 151-154.

3. Мазманишвили А.С. Оперативная маршрутизация транспортных средств на основе синтеза информационных карт спутниковой связи / А.С. Мазманишвили, О.Я. Никонов, Н.И. Слипченко // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков: ХТУРЭ, 1999. – № 1. – С. 26-28.

4. Александров Є.Є. Новий підхід до проблеми параметричного синтезу динамічних систем / Є.Є. Александров, О.Я. Ніконов // Машинознавство. – Львів, 1999. – № 8. – С. 27-31.

5. Александров Е.Е. К выбору мощности бортового передатчика космических станций для цифровых систем спутниковой связи / Е.Е. Александров, О.Я. Никонов // Космічна наука і технологія. – К., 1999. – Т. 5, № 5/6. – С. 21-24.

6. Об использовании в сельскохозяйственных гусеничных тракторах двухпоточных гидрообъемных механизмов поворота / Е.Е. Александров, И.В. Костяник, О.Я. Никонов [и др.] // Труды ГАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Авиационно-космическая техника и технология». – Харьков: ГАУ «ХАИ», 1999. – Вып. 10. – С. 33-36.

7. Александров Е.Е. Математическое моделирование моментов нагрузки на ведущих колесах гусеничной машины / Е.Е. Александров, В.Б. Самородов, О.Я. Никонов // Вісник ХДПУ. – Харків: ХДПУ, 2000. – Вип. 101. – С. 3-9.

8. К задаче оптимизации параметров системы подрессоривания транспортного средства / Е.Е. Александров, О.Н. Агапов, О.Я. Никонов [и др.] // Механіка та машинобудування. – Харків: ХДПУ, 2000. – № 1. – С. 35-41.

9. Александрова Т.Е. Минимизация расхода топлива дизелем 6ТД / Т.Е. Александрова, О.Я. Никонов // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2001. – Вып. 7. – С. 3-9.

10. Александрова Т.Е. Параметрический синтез электронного всережимного регулятора дизеля 6ТД для детерминированного объекта / Т.Е. Александрова, О.Я. Никонов // Механіка та машинобудування. – 2001. – № 1,2. – С. 184-189.

11. Александрова Т.Є. Генерація випадкових функцій навантаження на ведучих колесах гусеничної машини / Т.Є. Александрова, О.Я. Ніконов // Тракторная энергетика в растениеводстве. Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства. – 2002. – Вып. 5. – С. 303-308.

12. Никонов О.Я. Представление местности в функциональной схеме взаимодействия системы водитель–автомобиль–местность / О.Я. Никонов // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – № 1. – С. 34-38.

13. Ніконов О.Я. Математичне моделювання нормального марківського двомірного поля у задачах параметричного синтезу динамічних систем колісних та гусеничних машин / О.Я. Ніконов // Машинознавство. – 2003. – № 1. – С. 27-30.

14. Никонов О.Я. Система нейроуправления силовым следящим приводом / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – № 27. – С. 20-23.

15. Никонов О.Я. Использование методов эволюционного моделирования для управления поворотным механизмом антенны спутниковой связи / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин, А.С. Назаров // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 2. – С. 254-262.

16. Никонов О.Я. Применение искусственных нейронных сетей в качестве регуляторов электромеханических систем транспортных средств специального назначения / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – № 24. – С. 65-68.

17. Никонов О.Я. Нейрокибернетический подход к проблеме синтеза интеллектуальных систем управления колесных и гусеничных машин / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин // Вісник НТУ «ХПІ». Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – № 10. – С. 51-54.

18. Никонов О.Я. Исследование устойчивости стабилизатора объекта управления в пространстве трех параметров / О.Я. Никонов, Я.Б. Рафалович, А.Е. Истомин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – № 37. – С. 113-118.

19. Никонов О.Я. Помехоустойчивость нейрорегулятора следящей электромеханической системы / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин // Вестник НТУ «ХПИ».

Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – № 55. – С. 111-116.

20. Ніконов О.Я. Порівняльний аналіз схемних рішень електрогідравлічних перетворювачів для систем приводів колісних та гусеничних машин спеціального призначення / О.Я. Никонов, О.Є. Скворчевський // Восточно-европейский журнал передових технологий. – Харків, 2006. – № 1. – С. 57-64.

21. Ніконов О.Я. Активні системи гасіння коливань виконавчих механізмів транспортних роботів на основі теорії штучних нейронних мереж / О.Я. Ніконов // Машинознавство. – 2006. – № 1. – С. 19-22.

22. Никонов О.Я. Объектно-ориентированное моделирование в задачах синтеза сложных динамических систем / О.Я. Никонов, А.Е. Истомин, Я.Б. Рафалович // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – № 1. – С. 264-268.

23. Никонов О.Я. Исследование динамических характеристик тиристорных преобразователей в системах стабилизации транспортных средств специального назначения / О.Я. Никонов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – № 42. – С. 9-13.

24. Ніконов О.Я. Електрогідравлічні слідкуючі приводи з нейрокеруванням для транспортних машин високої прохідності / О.Я. Ніконов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2007. – № 3. – Ч.1. – С. 184-189.

25. Ніконов О.Я. Синтез електронної системи паливоподавання дизеля на основі штучних нейронних мереж / О.Я. Ніконов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – № 11. – С. 38-47.

26. Ніконов О.Я. Стенд для експериментального дослідження електрогідравлічних інваріантних виконавчих механізмів з нейрокеруванням / О.Я. Ніконов // Восточно-европейский журнал передових технологий. – Харків, 2007. – № 4/2. – С. 56-59.

27. Ніконов О.Я. Електрогідравлічна система керування начіпним обладнанням тракторів / О.Я. Никонов, О.Є. Скворчевський // Вісник аграрної науки Причорномор’я. – 2007. – Вип. 2. – С. 110-112.

28. Разработка вероятностной математической модели динамики ошибок для оценки надежности оператора / О.Я. Никонов, С.А. Волосников, А.И. Бобровский [и др.] // Вестник ХНАДУ «Автомобильный транспорт» − Харків: ХНАДУ, 2007. − Вып. 39. − С. 130-133.

29. Ніконов О.Я. Розроблення системи автоматичної стабілізації підвищеної точності для транспортних засобів спеціального призначення на основі штучних нейронних мереж / О.Я. Ніконов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – № 30. – С. 23-31.

30. Ніконов О.Я. Синтез інтелектуальних систем управління електроприводами систем стабілізації / О.Я. Ніконов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – № 33. – С. 124-129.

31. Ніконов О.Я. Експериментальні дослідження електрогідравлічних інваріантних виконавчих механізмів з нейрокеруванням системи наведення і стабілізації транспортних засобів / О.Я. Ніконов // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – № 2. – С. 81-87.

32. Александров Е.Е. Имитационное моделирование сложного внешнего возмущения, действующего на транспортное средство со стороны дороги / Е.Е. Александров, А.С. Мазманишвили, О.Я. Никонов // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 1. – С. 99-109.

33. Никонов О.Я. Идентификация и контроль датчиков угловой скорости в системе управления движением транспортного средства / О.Я. Никонов, Н.В. Назарова // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 46. – С. 97-102.

34. Мазманишвили А.С. Движение транспортного средства по профилю, возмущенному дробовым и белым шумами, и большие уклонения колебаний его корпуса / А.С. Мазманишвили, О.Я. Никонов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 26. – С. 38-44.

35. Ніконов О.Я. Використання геоінформаційних технологій в інтегрованих телематичних системах транспортних засобів спеціального призначення / О.Я. Ніконов // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 1. – С. 308-312.

36. Ніконов О.Я. Аналіз електромагнітної сумісності інтегрованих цифрових телематичних систем багатоцільових транспортних засобів / О.Я. Никонов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – № 47. – С. 104-111.

37. Александров Є.Є. Структурно-параметричний синтез системи автоматичного керування гальмами автомобіля / Є.Є. Александров, О.Я. Ніконов, О.Є. Скворчевский // Енергетика та ресурсозбереження. – №6. – 2009. – С. 30-39.

38. Никонов О.Я. Построение эффективного метода маршрутизации наземных мобильных объектов для сложных условий движения / О.Я. Никонов // Теория и техника передачи, приема и обработки информации: материалы 4-й междунар. научн.-техн. конф. – Харьков: ХТУРЭ. – 1998. – С. 368-369.

39. Ніконов О.Я. Інформаційна підтримка систем прийняття рішень наземних швидкохідних робототехнічних комплексів / О.Я. Ніконов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: матеріали XI междунар. научн.-техн. конф. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – С. 78-79.

АНОТАЦІЯ

Ніконов О.Я. Розроблення і синтез інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2010.

У дисертації запропоновано, обґрунтовано і реалізовано концепцію інтелектуального транспортного засобу на основі штучних нейромережевих регуляторів для колісних та гусеничних машин спеціального призначення з інтегрованими інформаційно-керуючими телематичними системами. Розроблена математична модель системи підресорювання для колісних та гусеничних машин спеціального призначення на основі використання безперервного «кольорового» і «дробового» шумів в якості зовнішніх збурень, діючих на систему. Розроблені 3D моделі місцевості, заснованих на дійсному нормальному марківському полі. Розроблено математичну модель і інформаційні карти прийому-передачі інформації в системах супутникового мобільного зв’язку, які знаходяться під дією багатомодової перешкоди, для керування взаємодією колісних та гусеничних машин спеціального призначення. Синтезовано цифрову систему керування гальмами колісної машини спеціального призначення на основі запропонованого електрогідравлічного перетворювача на базі елементу сопло-заслінка, зворотного клапана та пропорційного електромагніту з поступальним рухом якоря.

Ключові слова: колісні та гусеничні машини, інформаційно-керуюча система, система керування гальмами, система підресорювання, інформаційні технології, супутниковий зв'язок, інтелектуальний транспортний засіб.

АННОТАЦИЯ

Никонов О.Я. Разработка и синтез интегрированных информационно-управляющих телематических систем для колесных и гусеничных машин специального назначения. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2010.

В диссертации предложена, обоснована и реализована концепция интеллектуального транспортного средства на основе искусственных нейросетевых регуляторов для колесных и гусеничных машин специального назначения с интегрированными информационно-управляющими телематическими системами.

Разработана математическая модель системы подрессоривания для колесных и гусеничных машин специального назначения на основе использования непрерывного «цветного» и «дробового» шумов в качестве внешних возмущений, действующих на систему.

Разработаны 3D модели местности, основанные на действительном нормальном марковском поле. Предложенный подход позволяет смоделировать практически любую 3D местность с заданными характеристиками и проанализировать работу систем управления колесных и гусеничных машин на различных эксплуатационных режимах, а также использовать рассчитанные 3D модели местности для геоинформационных программ информационно-управляющих телематических систем.

Разработана функциональная схема системы топливоподачи транспортных дизелей 3ТД и 6ТД с нейроконтроллером для колесных и гусеничных машин специального назначения. Предложена методика выбора архитектуры искусственной нейронной сети. Решена задача выбора функционала качества для объекта управления. Доказано, что при принятых допущениях динамично-статическая модель искусственной нейронной сети будет эволюционировать в сторону уменьшения энергетической функции, а переходной процесс завершится в стационарном устойчивом состоянии, отвечающему одному из локальных (в общем случае) минимумов целевой функции. Разработано программное обеспечение для построения нейроконтроллеров. Проведено обучение нейроконтроллеров тремя методами. Наиболее эффективным оказался метод, объединяющий модифицированный генетический алгоритм и алгоритм обратного распространения. На основе разработанных методик, алгоритмов и программного обеспечения синтезированная высокоэффективная система топливоподачи транспортных дизелей 3ТД и 6ТД с нейроконтроллером в контуре управления для колесных и гусеничных машин.

Разработана математическая модель и информационные карты приема-передачи информации в системах спутниковой мобильной связи, находящихся под действием многомодовой помехи, для управлением взаимодействием колесных и гусеничных машин специального назначения.

Разработаны структурные схемы системы с нейроконтроллером для системы управления антенной установкой системы спутниковой мобильной связи колесных и гусеничных машин специального назначения. Решена задача выбора типа и архитектуры искусственной нейронной сети, а также функционала качества для объекта управления.

Синтезирована цифровая система управления тормозами колесной машины специального назначения на основе предложенного электрогидравлического преобразователя на базе элемента сопло-заслонка, обратного клапана и пропорционального электромагнита с поступательным движением якоря.

Разработан стенд для экспериментального исследования электрогидравлических исполнительных механизмов с обратной связью по давлению и микропроцессорным управлением с нейроконтроллером. Экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических исследований и тем самым эффективность использования интеллектуальных систем управления в интегрированных информационно-управляющих системах колесных и гусеничных машин специального назначения на основе искусственных

нейронных сетей и генетических алгоритмов. На основе экспериментальных исследований осуществлено тестирование и коррекция алгоритмических и программных средств нейроконтроллеров.

Ключевые слова: колесные и гусеничные машины, информационно-управляющая система, система управления тормозами, система подрессоривания, информационные технологии, спутниковая связь, интеллектуальное транспортное средство.

ABSTRACT

Nikonov O.J. Development and synthesis integrated informational-controlling telematic systems for wheel and caterpillar machines of special destination. Manuscript. Thesis for competition of scientific degree of Doctor of Technical Sciences, speciality 05.22.02 – automobiles and tractors. Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2010.

In thesis the concept of an intellectual vehicle is offered, proved and realized on the basis of artificial neural networks adjusters for wheel and caterpillar machines of special destination with integrated is informational-controlling telematic systems. Developed mathematical model of cushioning system for wheel and caterpillar machines of special destination on the basis of use of continuous «colour» and «shot» noise in the capacity of the external perturbations working at system. Developed 3D models of the district, grounded on the valid normal Markovian field. The mathematical model and information maps of reception information communication in systems of satellite vehicular communication, which are under action of a multimode interference, for steering of interacting of wheel and caterpillar machines of special destination is developed. The digital control system of brakes of the wheel machine of special destination is synthesized on the basis of the offered thruster on the basis of an element nozzle-shutter, back-pressure valve and proportional temporary magnet with translational movement of an anchor.

Key words: wheel and caterpillar machines, informational-controlling system, control system of brakes, cushioning system, information technologies, satellite communication, intellectual vehicle.