

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Носков Валентин Іванович

УДК 629.4.083:629.424.2

**СТВОРЕННЯ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОРВАГОННИХ ПОЇЗДІВ НА БАЗІ
СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Відкритому акціонерному товаристві «Український науково-дослідний інститут силової електроніки «Перетворювач», м. Запоріжжя

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Браташ Віктор Олександрович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, професор-консультант кафедри локомотивів

доктор технічних наук, професор
Болюх Володимир Федорович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, професор кафедри загальної електротехніки

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Юрченко Олег Миколайович,
Інститут електродинаміки Національної Академії наук України, м. Київ, завідувач відділу транзисторних перетворювачів

Захист відбудеться «__» _____ 2010 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.15 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «__» _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Любарський Б.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перспективність тягового рухомого складу, виконаного на базі асинхронного приводу і його широке застосування на новостворюваних локомотивах, дизель- і електропоїздах, поставили перед розробниками ряд складних наукових і технічних проблем, пов'язаних з впровадженням надійних, економічних і забезпечуючих необхідні тягові і динамічні характеристики систем автоматичного керування приводом. Одна з причин повільного просування вперед в цій області – незадовільне використання нових інформаційних технологій як на стадіях досліджень, проектування, виробництва і випробувань нових зразків техніки, так і на стадії експлуатації тягового рухомого складу. Найбільш перспективно використовувати технології штучного інтелекту на основі нейронних мереж, які дають альтернативні і багатообіцяючі підходи при вирішенні різних практичних завдань. Проектування і дослідження перспективного рухомого складу ставить нові, складні завдання, які пред'являють до характеристик обчислювальної техніки надмірні вимоги. Тому актуально розробляти раціональні математичні моделі і методи оптимізації, знаходити і використовувати спрощуючі пропозиції, що дозволяють виділити найбільш істотну інформацію і для оптимізації тягових, динамічних і енергетичних характеристик моторвагонного рухомого складу. Все перераховане і визначає актуальність теми досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відділі перетворювачів частоти ВАТ НДІ «Перетворювач» по госпдоговірним роботам з ВАТ ХК «Луганськтепловоз» на «Виготовлення, постачання і передачу комплектів дослідних зразків перетворювачів частоти та мікропроцесорних систем керування для електропередач дизель-поїздів ДЕЛ-02», за якими здобувач був науковим керівником, та у рамках держбюджетних тем МОН України: “Розробка теорії і методів оптимізації гібридних динамічних об'єктів на основі K -значного диференційного числення та методів штучного інтелекту” (ДР № 0101U001804) і “Розробка теорії і методів штучного інтелекту для моделювання та оптимізації динамічних об'єктів” (ДР № 0104U003016), за якими здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток наукових основ створення систем керування і контролю динамічними і енергетичними характеристиками тягового електроприводу моторвагонного рухомого складу на базі сучасних інформаційних технологій.

Дисертаційна робота містить постановку та вирішення наступних задач:

- розробка математичної моделі функціонування асинхронного електроприводу дизель-поїзду; вибір структури системи керування з урахуванням специфіки його експлуатації та оптимізація параметрів системи керування;
- розробка математичних моделей процесів руху дизель- і електропоїздів як об'єктів з керованими тяговими, динамічними і енергетичними характеристиками;
- створення системи контролю і діагностики динамічних режимів асинхронного електроприводу дизель-поїзду ДЕЛ-02 на базі сучасних обчислювальних засобів і прогресивних технологій;
- дослідження динамічних і енергетичних характеристик тягового асинхронного приводу і приводу постійного струму моторвагонних поїздів на математичних моделях;
- теоретичне обґрунтування аналітичного методу синтезу оптимальних регуляторів тягового асинхронного приводу дизель-поїзду та розробка чисельних методів синтезу регуляторів;
- розробка методів і засобів штучного інтелекту для вирішення завдань оптимізації тягових, динамічних і енергетичних характеристик дизель- і електропоїздів, а також задач прогнозування, контролю і діагностики стану агрегатів і пристроїв;
- експериментальна перевірка розроблених систем, методів і засобів керування, контролю і діагностики на моторвагонному рухомому складі.

Об'єкт дослідження – процеси керування тяговими, динамічними і енергетичними характеристиками моторвагонного рухомого складу.

Предмет дослідження – системи керування і контролю тяговими, динамічними і енергетичними характеристиками моторвагонного рухомого складу і системи підтримки прийняття рішень машиністом.

Методи дослідження. При синтезі і дослідженнях систем керування використовувалися теорія тяги поїздів, теорія тягового електроприводу та математичне моделювання. При вирішенні завдань оптимізації руху моторвагонних поїздів застосовувалась теорія оптимального керування, при контролі їх динамічних і енергетичних характеристик використовувались методи добору та обробки первинної інформації, теорія нейронних мереж та таксономічна класифікація.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- вперше для дизель-поїзду ДЕЛ-02 розроблена математична модель функціонування тягового асинхронного приводу, яка дозволяє досліджувати поведінку електроприводу в різних режимах, оцінювати ефективність пропонувані регуляторів і здійснювати пошук їх оптимальних параметрів;

- вперше для вітчизняного тягового асинхронного приводу дизель-поїзду розроблена інформаційна система, яка дозволяє реєструвати динамічні процеси в тяговому і гальмівному режимах, здійснювати контроль і діагностику динамічних режимів електроприводу, дає можливість в короткі терміни здійснювати наладку систем автоматичного керування;

- для синтезу оптимальних регуляторів тягового рухомого складу отримав подальший розвиток метод аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи (АКУР);

- отримала подальший розвиток теорія нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ): вперше розроблений метод навчання дискретних нейронних мереж АРТ без адаптації вагів зв'язків мережі в процесі навчання і на його основі запропонован ряд нових алгоритмів функціонування нейронних мереж в режимі навчання; у архітектуру мережі введені додаткові нейрони, що керують, дозволяють змінювати параметр схожості зображень в процесі функціонування нейронної мережі; вперше запропоновані мережі АРТ з безліччю алгоритмів навчання, що дозволило на основі мереж АРТ розробляти системи розпізнавання і підтримку прийняття рішень, що дозволяє точніше класифікувати режими динамічних об'єктів і оптимізувати їх техніко-економічні показники;

- вперше контроль динамічних режимів тягових електроприводів запропоновано здійснювати за допомогою нейронних мереж адаптивної резонансної теорії АРТ-1, що дозволило на основі інформаційної системи дизель-поїзда створити підсистему підтримки прийняття рішень машиністом в динамічних режимах і оптимізувати режими розгону одиниць моторвагонного рухомого складу;

- вперше запропоновано виконувати класифікацію динамічних режимів моторвагонного рухомого складу на основі таксономічного показника, що дозволило розробити ефективний метод контролю динамічних режимів тягових одиниць моторвагонного рухомого складу;

- вперше для класифікації динамічних режимів моторвагонного рухомого складу на основі таксономічного показника розроблена рекурентна нейронна мережа, що дозволило застосувати перспективну технологію штучного інтелекту для ефективного контролю динамічних режимів моторвагонного рухомого складу;

- вперше розроблена нейронна мережа для визначення розладнань в системах керування моторвагонного рухомого складу на основі критерію Стьюдента, що дозволило запропонувати ефективну технологію для раннього виявлення відхилень динамічних характеристик приводу від оптимальних;

– вперше для визначення розладнань в тимчасових послідовностях, що характеризують тягові і динамічні характеристики моторвагонного рухомого складу, а також для його діагностики запропоновано застосовувати радіально-базисні нейронні мережі, що дозволило використовувати технологію штучного інтелекту для прогнозування технічного стану і діагностики моторвагонного рухомого складу.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень дисертаційної роботи підтверджуються коректним використанням сучасних методів аналізу і синтезу систем керування тягового привода, результатами моделювання і тестування розроблених методів і алгоритмів контролю, діагностики і керування, а також результатами практичного впровадження розробленого.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи для моторвагонного рухомого складу полягає в:

– створенні системи керування електроприводом, яка була упроваджена на перших вітчизняних дизель-поїздах з асинхронними двигунами, що забезпечують економічніше перевезення пасажирів;

– створенні першої на Україні інформаційної системи збору і обробки інформації для тягових одиниць моторвагонного рухомого складу, що відкриває можливості устаткування вітчизняних локомотивів, що випускаються, дизель- електропоїздів сучасними інформаційними системами, що підвищують економічність і безпеку експлуатації тягового рухомого складу;

– розвитку методів, математичних моделей, алгоритмів і нейронних мереж для вирішення завдань керування, контролю і діагностики, які можуть використовуватися при проектуванні перспективного тягового рухомого складу.

Результати дисертаційної роботи вносять істотний вклад у розв’язання проблеми, поставленої в Державній програмі “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства”, що введена в дію Постановою Кабінету Міністрів України № 769 від 2 червня 1998 р., а також в Комплексній Програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2006...2010 р.р. (Наказ Міністерства транспорту і зв’язку від 05.06.2006 р. № 535) про “створення конкурентно-спроможного рухомого складу ...” і, таким чином, зменшує імпорту залежність держави у постачанні рухомого складу з держав СНД та Західної Європи.

Результати роботи використовуються на ВАТ ХК “Луганськтепловоз” (м. Луганськ) при створенні вітчизняного моторвагонного рухомого складу, а також у навчальному процесі на кафедрі обчислювальної техніки та програмування НТУ “ХП” та на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків).

Особистий внесок здобувача Всі основні результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобучем самостійно, серед них: розроблена математична модель асинхронного приводу та інформаційна система і система контролю роботи українського дизель-поїзда; розроблена модель електропоїзду з двигунами постійного струму. Розвинута теорія методу аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи. Вирішені завдання оптимального керування дизель-поїздом і електропоїздом. Контроль динамічних режимів електропередач запропоновано здійснювати за допомогою нейронних мереж адаптивної резонансної теорії АРТ-1 і таксономічного показника, що обчислюється за допомогою розробленої рекурентної нейронної мережі. Вдосконалена архітектура і алгоритми навчання нейронних мереж АРТ. Розроблені нейронна мережа для визначення розладнань в системах керування моторвагонного рухомого складу на основі критерію Стьюдента і радіально-базисні нейронні мережі.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і одержані результати роботи доповідалися й обговорювалися на: Всесоюзній конференції “Проблеми создания подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями” (Москва, 1986); III Всесоюзній науково-технічній конференції “Проблеми развития локомотивостроения” (Луганськ, 1990);

Республіканській науково-технічній конференції “Функционально-ориентированные вычислительные системы” (Харків, 1990); Міжнародній науково-технічній конференції “Функционально-ориентированные вычислительные системы” (Харків - Київ, 1993); Міжнародній науково-технічній конференції “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (Харьков, 1995); Міжнародній конференції “Компьютерное моделирование” (Белгород, 1998); Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я” (Харків, 2002); на Міжнародних науково-технічних конференціях “Проблеми інформатики і моделювання” (Харків, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008); П'ятом міжнародному симпозиумі “ЭЛМАШ – 2004” (Москва, 2004); Первой международной научно-технической конференции “Инфотелекоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании” (Ставрополь, 2004); 12-й Міжнародній конференції з автоматичного керування (“Автоматика-2005”), (Харків, 2005), 69-й науково-технічній конференції з міжнародною участю «Рухомий склад і безпека руху на транспорті» (Харків, 2007).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено в 50 друкованих працях, з них: 1 монографія, 26 статей у наукових фахових виданнях ВАК України, 3 патенти.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, додатку та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 349 сторінок основного тексту, включаючи 39 рисунків по тексту; 25 рисунків на 25 окремих сторінках; 4 таблиць по тексту; 8 таблиць на 8 окремих сторінках; додаток на 5 сторінках; 257 найменувань використаних літературних джерел на 28 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині обґрунтована актуальність теми дисертації, показано зв'язок роботи с Державними програмами и бюджетними темами, сформульовані мета та основні задачі досліджень, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. Наведені дані про впровадження результатів роботи, особистий внесок автора та публікації.

У першому розділі проводиться аналіз досліджень, пов'язаних з розвитком тягового електроприводу моторвагонного рухомого складу (МВРС), а також наведені короткі характеристики відомих технічних рішень з даного питання.

В даний час ведуться теоретичні і експериментальні дослідження по підвищенню техніко-економічних показників тягового рухомого складу (ТРС) як в країнах СНД, насамперед в Україні і Росії, так і в країнах Західної Європи. У більшості технічних рішень, пов'язаних із створенням систем керування, закладені відомі алгоритми, перенесені на нову елементну базу, що не дозволяє реалізувати в повному обсязі можливості мікропроцесорної техніки. Підкреслюється, що все це наслідок недоліку науково-обґрунтованих методів розвитку тягового електроприводу МВРС.

Проблема оптимального керування ТРС може бути розкладена на дві складові:

- оптимізацію режимів роботи енергетичного устаткування;
- оптимізацію руху поїзда.

Їх рішення вимагає обов'язкового розгляду нелінійних математичних моделей енергетичної системи і руху керованого об'єкту з врахуванням обмежень, що накладаються на допустимі діапазони зміни фазових координат і керувань, пов'язаних з режимами роботи електромеханічної системи ТРС. При цьому синтез оптимальних систем керування необхідно вести з врахуванням основних нелінійних залежностей об'єкту керування.

При розробці оптимальних систем керування виникла необхідність вирішення наступних завдань:

- вибір методів оптимізації і їх адаптація для синтезу систем керування ТРС;

- розробка математичних моделей для дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів, а також динаміки руху об'єкту з синтезованою системою керування;
- синтез оптимальної системи керування;
- синтез інформаційної системи, що дозволяє оптимізувати процеси керування і що використовує нейромережні алгоритми широкого функціонального призначення.

Зараз відомо ряд методів для синтезу оптимальних систем керування. Проте найбільшого поширення набули тільки деякі з них: класичне варіаційне числення, динамічне програмування, принцип максимуму Понтрягіна, метод функцій Ляпунова, методи аналітичного конструювання регуляторів Летова - Калмана і А.А. Красовського, машинно-орієнтовані методи термінального керування з використанням алгоритмів випадкового пошуку.

Для вирішення завдання оптимізації режимів роботи енергетичної системи ТРС виконано аналіз відомих методів синтезу і зроблений вибір найбільш застосовних для вирішення даного класу задач.

Аналіз проблем оптимального керування тяговим приводом МВРС показав, що найбільш перспективно використовувати для синтезу систем керування об'єктами, які описуються системами нелінійних диференціальних рівнянь, метод аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи і метод синтезу термінальних керувань. Метод АКУР дозволяє синтезувати регулятори, які оптимізують процеси керування не лише при детермінованих, але і при випадкових збуреннях. Критерій оптимальності в методі АКУР дає можливість враховувати як вимоги до якості динамічних процесів, точності приведення об'єкту в задану точку фазового простору, так і мінімізувати енергетичні витрати на процеси керування.

У другому розділі дисертації для цілей дослідження функціонування тягового асинхронного електроприводу моторвагонних поїздів розроблена його математична модель, яка дозволяє зробити вибір структури системи керування з урахуванням специфіки його експлуатації та оптимізувати параметри системи керування. Оскільки керування електроприводом здійснюється ієрархічною системою, то вона розглядалася у вигляді ряду підсистем, де підсистеми нижнього рівня підпорядковані вищим.

Науковий і практичний інтерес представляє синтез оптимальної системи керування електроприводом моторвагонного поїзда, підсистеми керування дизель-генераторною установкою (для дизель-поїзда), що включає, керування напругою і частотою асинхронних двигунів і систему формування зворотних зв'язків.

Система автоматичного керування тяговим електроприводом моторного вагону дизель-поїзда виконана двоконтурною. Перший контур регулює збудження тягового синхронного генератора і задає величину напруги, що підводиться до тягових електродвигунів. Цей контур забезпечує стабілізацію струму ТЕД при пуску і регулювання струму і напруги генератора в зоні дії обмеження по потужності дизеля. Другий контур регулювання є підпорядкованим першому і здійснює регулювання частоти живлення ТЕД.

Аналіз спрощених моделей дозволив зробити висновок, що зміна електромагнітного моменту ТЕД або моменту зчеплення колісних пар з рейками може викликати коливання механічної системи на власній частоті, а коливання механічної системи впливають на протікання електромагнітних процесів в електроприводі і викликають коливання електромагнітного моменту асинхронного двигуна.

Ці моделі електроприводу дали можливість на стадії проектування з достатньою точністю визначити області існування фрикційних автоколивань, синтезувати структуру ланок, що коректують, а отже, і структуру системи регулювання електроприводу з врахуванням можливих коливань колісних пар. Результати досліджень, виконані на моделі, були експериментально підтверджені в процесі налагоджувальних випробувань асинхронного тягового електроприводу перших українських дизель-поїздів ДЕЛ-01 і ДЕЛ-02.

Для тягового асинхронного електроприводу моторвагонних поїздів, керованих мікропроцесорною системою, розроблена інформаційна система, яка реалізована на базі бортового комп'ютера. Система дозволяє реєструвати і відображувати поточні значення основних змінних електроприводу у всіх режимах функціонування об'єкту. Відображення поточних значень вимірюваних змінних проводиться на ряді інформаційних екранів: «Машиніст», «Швидкість», «Електропередача», «Генератор» (для дизель-поїздів), «Двигун». За допомогою першого інформаційного екрану машиніст отримує практично повну інформацію, необхідну для керування поїздом. При цьому на екрані монітора відображуються: номер позиції контролера машиніста, швидкість обмоторених колісних пар, повні і активні струми тягових двигунів, ознаки включення і скидання навантаження, напрям руху, ознаки гальмування, включення і виключення опалювання і пневмогальма, стан диференційного захисту, захисту перетворювачів частоти.

При необхідності отримання додаткової інформації за швидкістю руху, режимам роботи тягових двигунів і ін. в цілому машиніст може перемикається на інші вказані екрани. За допомогою екрану «Коефіцієнти» є можливість коректувати значення змінних коефіцієнтів, постійних часу і уставок. Крім того, інформаційна система дозволяє відображувати поведінку основних змінних електроприводу у вигляді графіків з автоматичним і ручним масштабуванням вибраного набору змінних. Застосування інформаційної системи дозволило скоротити час налагодження електроприводу до одного тижня замість 2 – 3 місяців.

Таким чином, інформаційна система тягового електроприводу забезпечує машиніста великим об'ємом інформації, тільки незначну частку якої він може реально використовувати для оптимізації функціонування електроприводу. Основна ж частка отримуваної інформації відкриває можливості для вирішення завдань оптимального керування, прогнозування технічного стану, раннього виявлення зміни динамічних характеристик (розладнань) окремих агрегатів, вузлів і систем керування моторвагонним поїздом.

У третьому розділі дисертації виконана адаптація методу аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи до синтезу систем автоматичного керування електроприводу моторвагонного поїзда.

Запропонована модифікація методу аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи.

Таким чином, для синтезу оптимальної системи керування методом аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи тепер не потрібно, щоб математична модель об'єкту описувалася системою звичайних диференціальних рівнянь, в які керування u_j входять лінійно. Це накладало певні обмеження на сферу застосування методу, оскільки існує широкий клас об'єктів, в математичні моделі яких дії, що керують, входять нелінійно, зокрема, під знаками тригонометричних функцій, що характерно для моделей асинхронного тягового приводу. У зв'язку з цим і запропонована нова модифікація методу АКУР.

З цієї теореми виходить декілька важливих окремих випадків, коли права частина системи рівнянь (1) має вигляд:

$$\sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) u_{1ij} u_{2ij} + \sum_{k=1}^n \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t); \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^m \varphi_{ij} u_{m+1} \sin(\alpha_j u_j + \gamma_j) + \sum_{k=1}^n \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t) \quad (14)$$

і т.д., частину з яких зручно використовувати при синтезі систем керування асинхронним приводом.

У електроприводах з ТЕД останнім часом упроваджуються схеми перетворювачів частоти з інверторами, що використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Це дозволяє забезпечити широкий діапазон регулювання кутової швидкості асинхронного ТЕД і зменшити

втрати в ній від вищих гармонік напруги. При використанні інверторів з ШІМ відпадає необхідність в джерелі регульованої випрямленої напруги, що спрощує силову схему і дозволяє отримати коефіцієнт потужності перетворювача, близький до одиниці. Метод АКУР в класичному вигляді не можна використовувати для синтезу структури регуляторів електроприводу, в якому формування дій, що керують, здійснюється на основі широтно-імпульсної модуляції. У зв'язку з цим виконана адаптація методу АКУР для об'єктів, що використовують ШІМ.

У четвертому розділі дисертації досліджуються системи оптимального керування рухом поїздів за критеріями мінімізації енергетичних затрат та мінімізації часу руху.

Використовуючи математичну модель руху моторвагонного поїзда з врахуванням обмежень, а також співвідношення методу термінальних керувань, був розроблений метод, алгоритм і програма синтезу оптимальних керувань рухом моторвагонного поїзда, що мінімізують заданий критерій якості, зокрема, енергетичні витрати або час руху об'єкту.

Програма, дозволяє за кінцеве число ітерацій знаходити оптимальні термінальні керування. З її допомогою виконано математичне моделювання руху поїзда різної маси на ділянках шляху різного профілю і протяжності при різних діапазонах швидкостей руху і мінімізації енергетичних витрат або часу руху об'єкту.

Синтезовані оптимальні програмні закони керування рухом, що забезпечують мінімальні енергетичні витрати або часу руху моторвагонного поїзда на заданій ділянці шляху і дотримання обмежень на фазові координати, їх похідні, силу тяги і керування. Отримані програмні закони керування досить просто реалізуються за допомогою бортових програмованих пристроїв, які можуть видавати машиністові рекомендований режим руху поїзда з урахуванням реально існуючих техніко-експлуатаційних обмежень на час руху.

Задача оптимального керування рухом поїзду була узагальнена і для електропоїздів, що знаходяться в експлуатації. Для цього була розроблена математична модель електроприводу з тяговими електродвигунами постійного струму з послідовним збудженням.

Керування тягою електродвигуна при пуску і розгоні в досліджуваному типіві електропоїзда здійснюється за допомогою пускового резистора R_d .

На основі математичної моделі розроблена програма синтезу оптимальних термінальних керувань розгону електропоїзда ЕПЛ-2Т для випадку мінімізації витрат енергії або часу розгону. Програма розроблена на мові C++ для системи програмування *MS Visual C++*.

Розроблений також метод аналітичного синтезу регулятора розгону електропоїзда за допомогою принципу максимуму Понтрягіна і дужок Пуассона. Регулятор дозволяє визначати керування як функцію фазових координат об'єкту і навантаження (профілю шляху і маси поїзда).

Наявність математичної і програмної моделей дозволила провести детальне дослідження і оптимізацію динамічних процесів об'єкту ще на стадії проектування електроприводу.

У п'ятому розділі дисертації розглядаються проблеми оптимізації динамічних режимів об'єктів керування за допомогою дискретних нейронних мереж АРТ. Системи керування на основі штучних нейронних мереж багатьма авторами розглядаються як альтернатива класичним системам керування. В даний час відом цілий ряд можливої архітектури для побудови нейромережних систем керування, а також систем керування, де нейрорегулятори працюють паралельно звичайним регуляторам. Великий інтерес до нейромережних систем керування пов'язан з тим, що вони мають ряд корисних властивостей, яких важко добитися за допомогою інших методів. Зокрема, мова йде про робастність систем керування, про визначення керувань в умовах, коли неточно відома модель об'єкту, гнучкішому реагуванні на зовнішні умови, що змінюються, можливості обробки даних різної природи. Можна також відзначити, що для нейромережних моделей не існує обмежень, пов'язаних з нелінійністю системи, її ладом або видом використаного функціонала.

Неможливість за допомогою вже відомих нейронних мереж вирішити проблему сприйняття нової інформації при збереженні що вже є (тобто вирішити проблему стабільності - пластичності) привело до розробки принципово нових конфігурацій нейромереж - мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ). Ці мережі певною мірою вирішують суперечливі завдання чутливості (пластичності) до нових даних і збереження отриманої раніше інформації (стабільності). Тому проблеми розпізнавання конкретних режимів динамічних об'єктів і адаптація системи в процесі експлуатації можуть вирішуватися на основі дискретних нейромереж АРТ.

Ця мережа відносить пред'явлене вхідне зображення до одного з класів, що запам'ятали, тільки в тому випадку, якщо воно достатнє схоже на прототип цього класу, тобто на зображення, що зберігається у вагах зв'язків нейронної мережі. Якщо така властивість, встановлена за допомогою спеціального параметра схожості між двома зображеннями, має місце, то знайдений прототип модифікується, щоб стати більш схожим на пред'явлене мережі вхідне зображення. За відсутності достатньої схожості між пред'явленим зображенням і прототипами всіх наявних класів, воно запам'ятовується мережею як прототип нового класу. Це можливо завдяки тому, що інформація про зображення-прототипи зберігається локально, тільки у вагах зв'язків одного нейрона, що розпізнає, і мережа має значне число неживаних нейронів, що розпізнають, надлишок яких зменшується у міру надходження нової вхідної інформації. Наявність надлишкових нейронів, що розпізнають, є принциповою особливістю нейронних мереж АРТ, оскільки при їх відсутності нові вхідні зображення просто втрачаються. Таким чином, локальне зберігання інформації і наявність надлишкових нейронів, що розпізнають, дозволяє запам'ятовувати нову інформацію (нові образи), не спотворюючи або втрачаючи ту, що вже є.

Проте проведений в дисертаційній роботі детальний аналіз відомих дискретних нейронних мереж АРТ показав, що вони мають недоліки: неекономне використання пам'яті нейронної мережі, оскільки велика матриця ваг зв'язків зберігає тільки одне зображення; наявність тільки одного способу навчання нейронної мережі шляхом адаптації ваг зв'язків нейронів, що розпізнають, що може приводити до спотворення або втрати, що зберігається в пам'яті мережі інформації; кінцевий результат навчання дискретної мережі АРТ може залежати від послідовності пред'явлення зображень; відсутність режимів навчання мережі АРТ-1 з вчителем, а також можливості впливати на кінцеві результати навчання; крім того, у відомих дискретних нейронних мережах АРТ розпізнавання будь-якого вхідного зображення здійснюється тільки при одному значенні параметра схожості зображень, що також звужує сферу застосування дискретних нейронних мереж АРТ.

Запропоновано модифікацію методу навчання дискретних нейронних мереж АРТ без адаптації ваг зв'язків мережі в процесі навчання і на його основі реалізован ряд алгоритмів навчання. Кожен з запропонованих алгоритмів має свої переваги (але не позбавлений і недоліків), тому доцільне спільне використання сукупності алгоритмів в одній мережі АРТ. У зв'язку з цим розроблена дискретна нейронна мережа АРТ з базовою архітектурою мережі АРТ-1, але з безліччю алгоритмів її функціонування в режимах навчання.

На основі розробленого методу навчання дискретних нейронних мереж АРТ без адаптації ваг зв'язків мережі в процесі навчання запропонована дискретна нейронна мережа АРТ з паралельно працюючими полями оброблювальних нейронів з базовою архітектурою відомої нейронної мережі, але з безліччю алгоритмів навчання, описаних вище для мережі з одним полем чутливих нейронів.

На основі запропонованих нейронних мереж адаптивної резонансної теорії АРТ і бортової інформаційної системи була розроблена система розпізнавання динамічних режимів і для українського дизель-поїзда ДЕЛ-02.

У шостому розділі дисертації розглянуто вживання нейронних мереж для вирішення завдань прогнозування, контролю і діагностики тягового електроприводу моторвагонного поїзда.

Системи керування сучасних локомотивів, дизель- і електропоїздів характеризуються значною кількістю технічних і економічних показників, що змінюються в часі. Оперативна оцінка всіх цих показників людиною практично неможлива навіть при візуальному відображенні інформації, для аналізу якої потрібна не лише висока кваліфікація фахівця, але і трудомістка обробка даних з використанням обчислювальної техніки. У зв'язку з цим для аналізу стану сучасного рухомого складу пропонується використовувати новий підхід, заснований на аналізі таксономічного показника. Цей показник є інтегральною величиною, що враховує всю безліч вимірюваних параметрів або змінних, і використовується для процедур класифікації в сучасних соціально-економічних, економіко-математичних, криміналістських і технічних системах.

Для визначення таксономічного показника використовується матриця спостережень $X(t)$, що має n стовпців і m рядків. Кожен із стовпців матриці відповідає одній з вимірюваних величин $x_1, \dots, x_p, x_{p+1}, \dots, x_n$. Число m рядків матриці відповідає числу тактів вимірів контрольованих величин

$$X(t) = \begin{bmatrix} \hat{x}_1(t_1) & \hat{x}_2(t_1) & \dots & \hat{x}_p(t_1) & \check{x}_{p+1}(t_1) & \dots & \check{x}_n(t_1) \\ \hat{x}_1(t_2) & \hat{x}_2(t_2) & \dots & \hat{x}_p(t_2) & \check{x}_{p+1}(t_2) & \dots & \check{x}_n(t_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{x}_1(t_i) & \hat{x}_2(t_i) & \dots & \hat{x}_p(t_i) & \check{x}_{p+1}(t_i) & \dots & \check{x}_n(t_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{x}_1(t_m) & \hat{x}_2(t_m) & \dots & \hat{x}_p(t_m) & \check{x}_{p+1}(t_m) & \dots & \check{x}_n(t_m) \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Всі вимірювані величини $x_1(t), \dots, x_n(t)$ матриці $X(t)$ можуть ділитися на дві групи: показники-стимулятори $(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_p)$ і показники-дестимулятори $(\check{x}_1, \dots, \check{x}_n)$. Збільшення показників першої групи в спільному випадку веде до поліпшення стану об'єкту, а другої групи – до його погіршення.

Розроблена рекурентна нейронна мережа в процесі експлуатації об'єкту розраховує послідовність значень таксономічного показника $\alpha(t_1), \alpha(t_2), \dots, \alpha(t_m), \alpha(t_{m+1}), \dots$. Якщо отримані значення приблизно однакові і близькі до одиниці, то це свідчить про оптимальне функціонування об'єкту керування. Зменшення значень таксономічного показника є сигналом про відхилення функціонування об'єкту від оптимального.

За допомогою цієї мережі можливе раннє виявлення зміни динамічних характеристик (розладнань) окремих систем керування моторвагонних поїздів і тісно пов'язана з нею діагностика цих систем. Ці проблеми можуть бути значною мірою вирішені на основі нейронних мереж, що прогнозують динаміку об'єктів. Спочатку аналізується випадок, коли контрольований об'єкт може бути описаний як лінійний стохастичний об'єкт різницеvim рівнянням вигляду

$$y(t_k) = b_1 y(t_{k-1}) + \dots + b_n y(t_{k-n}) + b_{n+1} u(t_{k-1}) + \dots + b_{n+q} u(t_{k-q}) + \delta(t_k) = B^T x(t_k) + \delta(t_k), \quad (34)$$

де $y(t_k)$ та $u(t_k)$ – відповідно вихідна змінна і керування об'єктом у момент часу $t = t_k$; $B^T = (b_1, \dots, b_n, \dots, b_{n+q})^T$ – вектор в спільному випадку невідомих параметрів;

$\delta(t_k)$ – збурення типу білого шуму; $x(t_k) = (y(t_{k-1}), \dots, u(t_{k-q}))$ – вектор узагальнених входів у момент часу t_k .

Один з можливих підходів до виявлення зміни динамічних характеристик об'єкту (34) – за інформацією, що міститься в послідовності значень вихідного сигналу об'єкту

$$y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_k), \dots \quad (35)$$

Для цього випадку розроблена контролююча нейронна мережа з прямою передачею сигналів.

У тих випадках, коли об'єкт не може бути задовільно описаний за допомогою лінійних моделей, в нейронну мережу можуть бути введені нейрони N_1, N_2, \dots, N_{d-1} з сигмоїдальними функціями активації. При використанні цих нейронів прогноз ряду (35) здійснюється за допомогою нелінійних моделей на основі цих нейронів. Оцінки ряду (35) мають вигляд:

$$U_{\text{вих}_1}(t_k) = y_1^*(t_k) = C_1(t_k) x_1(t_k) + (1 - C_1(t_k)) y_2(t_k),$$

.....

$$U_{\text{вих}_{d-1}}(t_k) = y_{d-1}^*(t_k) = C_{d-1}(t_k) x_{d-1}(t_k) + (1 - C_{d-1}(t_k)) y_d(t_k),$$

де $x_i(t_k)$ – вихідний сигнал сигмоїдального нейрона N_i ($i = \overline{1, d-1}$) у момент часу $t = t_k$.

Співвідношення (36) є $(d-1)$ -ою моделлю для прогнозування значень ряду (35). Краща з моделей (36) має мінімальне значення критерію, що оцінює прогнозування, і може бути використана для опису вихідної послідовності (35) контрольованого об'єкту. Зміна кращої прогнозуючої моделі може використовуватися для виявлення розладнань в об'єкті, а вектор коефіцієнтів $C(t) = (C_1(t), C_2(t), \dots, C_{d-1}(t))$ – як діагностичний вектор об'єкту.

Проблема раннього виявлення зміни динамічних характеристик окремих підсистем керування моторвагонних поїздів може бути вирішена і за допомогою критерію Стюдента, якщо контрольований об'єкт може бути описаний лінійним різницеvim рівнянням вигляду (34). Для визначення розладнань на основі критерію Стюдента розроблена спеціальна нейронна мережа.

Для вирішення завдань контролю і діагностики рухомого складу запропоновано використовувати нейронні мережі, що використовують нейрони з радіально-базисними функціями активації. Нейрони цього типу здійснюють локальну апроксимацію функції, що наближається, в обмеженій області довкола вибраного центру. Цим вони істотно відрізняються від нейронів з сигмоїдальними функціями активації.

Приведена радіально-базисна мережа для визначення розладнань в тимчасовій послідовності. Для діагностики об'єктів з деякою численністю вхідних і вихідних сигналів запропоновано використовувати тришарову радіально-базисну нейронну мережу. Для розширення діагностичних здібностей цієї нейронної мережі доцільне використання вихідних сигналів об'єкту не лише в поточний, але і в попередні моменти часу. Розроблений один з можливих варіантів структури такої нейронної мережі.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична проблема підвищення економічних, енергетичних і тягових характеристик моторвагонного рухомого складу на основі створення тягового асинхронного приводу, його системи автоматичного керування і інформаційно-виміральної системи з використанням сучасних інформаційних технологій.

Основні результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Показано, що основним недоліком існуючого моторвагонного рухомого складу є використання застарілого тягового електроприводу постійного струму, який по економічним, енергетичним і тяговим характеристикам істотно поступається тяговому приводу з асинхронними двигунами. Обґрунтована необхідність при створенні вітчизняного тягового електроприводу використання сучасних інформаційних технологій на базі обчислювальної техніки і досягнень штучного інтелекту.

2. Розроблена математична модель функціонування асинхронного електроприводу дизель-поїзду, яка дозволяє обрати структуру системи керування з урахуванням специфіки його експлуатації та виконати оптимізацію параметрів системи керування для забезпечення ефективної роботи електроприводу.

3. Розроблені математичні моделі процесів руху дизель-поїзду з тяговим асинхронним електроприводом та електропоїзду з електродвигунами постійного струму як об'єктів з керованими тяговими, динамічними і енергетичними характеристиками.

4. Обґрунтована необхідність удосконалення методів і алгоритмів збору, реєстрації і обробки інформації про поведінку тягового електроприводу в режимах його дослідження, налашки, контролю, діагностики і керування на базі нових інформаційних технологій. На базі сучасних обчислювальних засобів і прогресивних технологій для асинхронного тягового електроприводу розроблена інформаційна система, що дозволила скоротити терміни налашки електроприводів до одного тижня замість 2 – 3 місяців, підвищити ефективність і надійність роботи електроприводу в режимах його нормальної експлуатації, а також можливість, що відкрила, для вирішення в реальному часі завдань підтримки прийняття рішень машиністом, контролю, діагностики і керування з використанням прогресивних технологій штучного інтелекту і теорії оптимального керування.

5. На основі розроблених моделей: проведені дослідження динамічних і енергетичних режимів асинхронного електроприводу дизель-поїзду, вибрана оптимальна структура системи керування приводом з урахуванням експериментальних даних, оптимізовані її параметри; створена програма синтезу оптимальних рівнянь для розгону електропоїзду з тяговими електродвигунами постійного струму для випадків мінімізації використання енергії або мінімізації часу розгону з урахуванням обмежень, які визначені характеристиками участку шляху, по якому рухається електропоїзд, і характеристиками тягового електроприводу поїзда. На основі цієї моделі, принципу максимуму Понтрягіна і дужок Пуассона синтезована структура регулятора, яка забезпечує оптимальний розгін електропоїзду.

6. Теоретично обґрунтован аналітичний метод синтезу оптимальних регуляторів по критерію узагальненої роботи для випадку, коли керування входять під знаки безперервних функцій. Оскільки завдання визначення параметрів регулятора може бути сформульовано в рамках теорії рівноваг, де пошук глобального рішення або рівноваги по Нешу вимагає надмірних обчислювальних витрат, то у зв'язку з цим запропоновано декілька спільних раціональних чисельних методів вирішень завдань керування за допомогою методу АКУР:

– завдання раціональної структури виразів у функціоналі з метою істотного зменшення числа коефіцієнтів, що задаються $\beta_{ij}, \beta_{ijk}, \dots, \rho_{ij}, \rho_{ijk}, \dots$;

– використання тимчасової ієрархії для визначення вагових коефіцієнтів оптимізуемого функціонала методу АКУР;

– використання багатосарових нейронних мереж (зокрема, трирядних перцептронів) для визначення параметрів системи керування, що синтезується, на основі методу АКУР.

Розвиток теорії АКУР і чисельних методів визначення параметрів регуляторів розширили сферу можливого застосування методу і дозволили синтезувати оптимальні регулятори для тягового електроприводу моторвагонного рухомого складу.

7. Розроблені методи і засоби штучного інтелекту для вирішення завдань оптимізації тягових, динамічних і енергетичних характеристик дизель- і електропоїздів. З позицій вирішення завдань синтезу систем керування і контролю характеристик моторвагонного

рухомого складу і систем підтримки прийняття рішень машиністом проаналізовані недоліки найбільш перспективних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, що не дозволяють їх ефективно використовувати в реальних системах керування. Розроблені основи теорії методу навчання дискретних нейронних мереж АРТ без адаптації вагів зв'язків мережі в процесі навчання і на його основі запропонован ряд алгоритмів функціонування дискретних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії в режимі навчання. Запропоновані нейронні мережі АРТ з одним і декількома полями оброблювальних нейронів, що використовують безліч алгоритмів навчання.

Надані архітектури дискретних нейронних мереж, що забезпечують різні значення параметрів схожості для різних зображень, які дозволяють змінювати параметр схожості зображень в процесі розпізнавання динамічних режимів. Це відкрило можливість використання цих мереж для розпізнавання динамічних режимів, що протікають на межі двох або більше характерних зон.

Результати в теорії мереж АРТ дозволили вирішити конкретні завдання розробки систем підтримки прийняття рішень машиністом, зокрема, для керування режимами розгону моторвагонного поїзда.

Розроблені основи теорії вживання нейронних мереж для вирішення завдань підтримки прийняття рішень, контролю, діагностики і прогнозування стану моторвагонного рухомого складу:

- для класифікації динамічних і статичних режимів електроприводу моторвагонного рухомого складу розроблена рекурентна нейронна мережа, що виконує класифікацію режимів функціонування об'єктів на основі таксономічного показника, що дозволило застосувати нову технологію штучного інтелекту для ефективного контролю режимів функціонування тягового електроприводу моторвагонного поїзда;

- розроблена нейронна мережа для раннього виявлення відхилень динамічних характеристик тягового електроприводу від оптимальних на основі критерію Стьюдента;

- запропоновані радіально-базисні нейронні мережі для вирішення завдань контролю, діагностики і прогнозування стану тягового електроприводу по тимчасових послідовностях.

8. Розроблені система керування тяговим електроприводом з асинхронними двигунами і інформаційно-вимірювальна система, які виконані на базі сучасних інформаційних технологій, впроваджені на перших вітчизняних дизель-поїздах ДЕЛ-02 (ВАТ ХК "Луганськтепловоз") та використовуються у навчальному процесі на кафедрі обчислювальної техніки та програмування НТУ "ХП" та на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків).

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Носков В.И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов // Научное издание – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.

Здобувачем розроблені основні моделі моторвагонного рухомого складу, доказані нові теореми по методу АКУР, розроблена система керування рухомим складом, запропонована нейронна мережа АРТ зі змінним параметром схожості, розроблена система підтримки прийняття рішень машиністом на основі нейронних мереж АРТ, запропонована методика використання таксономічного показника для контролю динамічних режимів рухомого складу, запропоновано використовувати для контролю, діагностики та прогнозування технічного стану моторвагонного рухомого складу нейронні мережі на основі критерію Стьюдента, мережі з прямою передачею сигналів і радіально-базисні нейронні мережі.

2. Носков В.И. Электропередача дизель-поезда ДЭЛ-01 / В.И. Носков, Г.Г. Басов // Вісник Східно-українського національного університету. – Луганськ. – 2000. – №5. – С. 64 – 68.

Здобувачем розроблена структурна схема електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-01 з асинхронними тяговими двигунами і перетворювачами частоти.

3. Носков В.И. К решению задачи синтеза терминальных управлений движением локомотива с электроприводом постоянного тока. / В.И. Носков, Н.И. Заполовский, И.Е. Игнатьев // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2000. – Вып. 83. – С. 10 – 12.

Здобувачем поставлена і вирішена задача синтезу системи оптимального керування рухом локомотиву по шляху з відомим профілем.

4. Носков. В.И. Математическая модель электропоезда / В.И. Носков // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. – 2001. – Вип. 46. – С. 25 – 29.

5. Носков В.И. Оптимизационная модель для синтеза терминальных управлений движением электропоезда. / В.И. Носков, Н.И. Заполовский, Ю.Н. Колыбин, М.В. Липчанский // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2001. – №4. – С. 198 – 202.

Здобувачем запропонована модель для синтезу керувань, які забезпечують оптимальний рух електропоїзду.

6. Дмитриенко В.Д. Адаптивный контроль отклонений в системах управления локомотивом с помощью нейронных сетей. / В.Д.Дмитриенко, Н.И.Заполовский, В.И.Носков, М.В. Липчанский // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2002. – № 18. – С.45 – 51.

Здобувач запропонував для контролю динамічних режимів тягового приводу використовувати таксономічний показник, розрахований за допомогою спеціалізованої нейронної мережі.

7. Дмитриенко В.Д. Обнаружение разладок в системах управления тягового подвижного состава с помощью искусственных нейронных сетей. / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, В.И. Носков, М.В. Липчанский // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2003. – № 26. – С. 13 – 24.

Здобувач запропонував схеми та алгоритми функціонування нейронних мереж для контролю, діагностики і виявлення розладок у системах керування тягового рухомого складу.

8. Дмитриенко В.Д. Проблемы оптимизации управления тяговым асинхронным приводом украинских дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, М.В. Липчанский // Моделювання та інформаційні технології. – К. –2004. – Вип. 26. – С. 48 – 54.

Здобувач розробив інформаційно-вимірнювальну систему для українського дизель-поїзду та запропонував для рішення задач контролю використовувати нейронну мережу з прямою передачею сигналів.

9. Дмитриенко В.Д. Контроль тягового подвижного состава с использованием таксономического показателя / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, М.В. Липчанский // Системи обробки інформації. – 2004. – Вип. 8 (36) – С. 20 – 26.

Здобувач запропонував використання векторного таксономічного показника для контролю тягового рухомого складу.

10. Носков В.И. Моделирование САР электропередачи дизель-поезда с использованием нейронных сетей / В.И. Носков, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2004. – № 34. – С. 144 – 152.

Здобувач запропонував математичну модель синхронного генератора з випрямачем на основі нейронної мережі.

11. Дмитриенко В.Д. Определение оптимальных режимов ведения дизель-поезда с использованием нейронной сети АРТ / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, М.В. Липчанский, А.Ю.

Заковоротный // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2004. – № 46. – С. 90 – 96.

Здобувач узагальнив експериментальні дані по режимам розгону дизель-поїзду і запропонував систему підтримки прийняття рішень машиністом на основі дискретної нейронної мережі АРТ-1.

12. Носков В.И. Модель электромеханической системы дизель-поезда / В.И. Носков // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків. –2004. – № 7 (1). – С. 64 – 66.

13. Дмитриенко В.Д. Математическое моделирование и оптимизация системы управления тяговым электроприводом / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, М.В. Липчанский // Системи обробки інформації. – 2004. – Вип. 11 (39) – С. 55 – 62.

Здобувач запропонував математичну модель електроприводу для рішення задачі оптимального керування, а також її рішення за допомогою теорії оптимального керування.

14. Дмитриенко В.Д. Решение задачи оптимизации критерия обобщенной работы при нелинейно входящих управлениях / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Системи обробки інформації. – 2004. – Вип. 12 (40) – С. 52 – 59.

Здобувач запропонував і довів теореми, які розширюють зони використання методу аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи.

15. Носков В.И. Задача синтеза системы управления движением транспортного средства / В.И. Носков // Комунальне господарство міст. – 2004. – № 55. – С. 166 – 171.

16. Дмитриенко В.Д. Оптимизация динамических процессов электропривода переменного тока с использованием равновесных математических моделей / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, А.И. Баленко, В.И. Носков // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. – 2005. – Вип. 64. – С. 38 – 50.

Здобувач запропонував при пошуку параметрів регулятора електроприводу вирішувати допоміжну оптимізаційну задачу, а також структуру функціоналу при оптимізації конкретного асинхронного приводу.

17. Носков В.И. Моделирование системы регулирования возбуждения тягового генератора с использованием методов нейронных сетей / В.И. Носков // Українська державна академія залізничного транспорту. – 2005. – Вип. 68. – С. 143 – 152.

18. Носков В.И. Синтез системы управления тяговым асинхронным приводом / В.И. Носков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – № 4. – С. 31 – 33.

19. Носков В.И. Идентификация режимов функционирования динамических объектов с использованием нейронных сетей АРТ / В.И. Носков, А.Ю. Заковоротный, М.В. Липчанский // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2005. – № 54. – С. 56 – 61.

Здобувач запропонував для розпізнавання складних динамічних процесів використовувати нові безперервні мережі адаптивної резонансної теорії.

20. Заполовский Н.И. Синтез системы векторного управления тяговым асинхронным электроприводом локомотива / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2005. – № 56. – С. 151 – 156.

Здобувач сформулював та довів теорему для метода аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи при нелінійно вхідних керуючих діяннях.

21. Носков В.И. Состояние и перспективы внедрения тяговых электроприводов переменного тока / В.И. Носков, Н.И. Шпика // Гідроенергетика України. – 2006. – № 2. – С. 63 – 67.

Здобувач запропонував структурну схему електроприводу та систему керування дизель-поїздом.

22. Носков В.И. Исследование с помощью математических моделей тяговых асинхронных электроприводов / В.И. Носков // Комунальне господарство міст. – 2006. – № 72. – С. 288 – 298.

23. Дмитриенко В.Д. Алгоритмы обучения дискретных сетей АРТ без адаптации весов связей распределенных распознающих нейронов / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, И.П. Хавина // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2006. – № 23. – С. 35 – 48.

Здобувач запропонував новий метод розрахунку дискретних нейронних мереж АРТ і нові дискретні мережі АРТ.

24. Иванов К.А. Разработка методов оценки тяговых электропередач локомотивов / К.А. Иванов, В.И. Носков // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2007. - № 39. – с. 83 – 88.

Здобувач запропонував виконувати комплексну оцінку тягових електропередач локомотивів за допомогою інтегрального показника.

25. Носков В.И. Исследование с помощью математической модели тяговых электроприводов дизель-поезда ДЭЛ-02 / В.И. Носков // Рухомий склад та безпека руху на транспорті. – 2007. – Вип. 82. – С.131 – 138.

26. Носков В.И. Тяговый асинхронный электропривод скоростного электропоезда / В.И. Носков // Залізничний транспорт України. – 2009. – №2/1 (75). – С.16 – 18.

27. Дмитриенко В.Д. Синтез регуляторов методом АКОР А.А. Красовского при нелинейно входящих управлениях и случайных возмущающих воздействиях / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2009. – № 12. – С. 53 – 60.

Здобувач запропонував нову модифікацію метода аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи А.А. Красовського при наявності випадкових збурень.

28. Чернышев А.А. Инвертор. А.с. № 1646031 СССР, МКИ Н 02 М 7/515 / А.А. Чернышев, М.В. Мажинский, В.И. Носков, А.Н. Тараненко // (СССР). – № 4619510/07; Заявл. 14.09.88; Оpubл. 30.04.91. Бюл. № 16. – 1 с.

Здобувач запропонував схему використання інвертора для резисторного гальмування частотно-керуємих асинхронних двигунів.

29. Чернышев А.А. Электрическая тяговая система транспортного средства. А.с. № 1677777 СССР, МКИ Н 02 J 9/00, В 60 L 11/12 / А.А. Чернышев, М.В. Мажинский, В.И. Носков // (СССР). – № 4698209/07; Заявл. 31.09.91; Оpubл. 15.09.91. Бюл. № 34. – 1 с.

Здобувач запропонував схему електропередачі, яка дозволяє використовувати безстартерний запуск дизеля.

30. Чернышев А.А. Инвертор. А.с. № 1714775 СССР, МКИ Н 02 М 7/515 / А.А. Чернышев, М.В. Мажинский, В.И. Носков, А.Н. Тараненко // (СССР). – № 4673866/07; Заявл. 04.04.89; Оpubл. 23.02.92. Бюл. № 7. – 1 с.

Здобувач запропонував використання інвертора для резисторного гальмування частотно-керуємого тягового асинхронного приводу.

31. Носков В.И. Исследование динамики тягового электропривода с асинхронным двигателем / В.И. Носков, А.Ф. Даниленко // Проблемы создания подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями : Всесоюзная науч.-техн. конф., 4-5 февраля 1986 г.: тезисы докл. – М: 1986. – С. 43 – 45.

Здобувач запропонував коректуючі засоби для забезпечення стійкості системи асинхронного електроприводу.

32. Грапонов В.Г. О новом подходе к решению проблем тягового электропривода переменного тока тепловоза / В.Г. Грапонов, М.В. Мажинский, В.С. Марченко, В.И. Носков, А.А. Чернышев // Сб. научных трудов. – М.: МЭИ, – 1987. – Вып. 136. – С. 36 – 40.

Здобувач запропонував новий підхід до створення тягового електроприводу змінного струму тепловоза.

33. Носков В.И. Гибридный исследовательский комплекс тягового асинхронного привода / В.И. Носков, Н.И. Заполовский, М.В. Мажинский, А.Ф. Даниленко, В.С. Капинус, А.А. Чернышев // Сб. научных трудов. – Харьков: НИИ завода «Электротяжмаш». – 1989.– Вып. 1. – С. 30 – 35.

Здобувач запропонував структурну схему гібридного дослідного комплексу тягового асинхронного привода.

34. Даниленко А.Ф. Вычислительная система для отладки и управления асинхронным приводом / А.Ф. Даниленко, Н.И. Заполовский, М.В. Мажинский, В.И. Носков // Функционально-ориентированные вычислительные системы : Республиканская науч.-техн. конф., 4-6 октября 1990 г.: тезисы докл. – Харьков: ХПИ, 1990. – С. 27 – 28.

Здобувач розробив модель датчика магнітного потоку і датчика струму і методи формування їх сигналів.

35. Мажинский М.В. Проблемы развития электропередач переменного тока / М.В. Мажинский, О.Р. Мандрыка, В.С. Марченко, В.И. Носков, А.А. Чернышев // Проблемы развития локомотивостроения : III Всесоюзная конф., 22-24 мая 1990 г.: тезисы докл. – Ворошиловград: ВМСИ, 1990. – С. 101 – 102.

Здобувач узагальнив основні проблеми розвитку електропередач змінного струму.

36. Мажинский М.В. Проблемы создания тягового электропривода переменного тока для тепловозов. / М.В.Мажинский, О.Р.Мандрыка, В.И.Носков, А.А. Чернышев // Проблемы создания подвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями : II Международная науч.-техн. конф., 5-7 февраля 1990 г. – Рига, 1990. – С. 32 – 33.

Здобувач узагальнив і сформулював проблеми створення тягового електроприводу змінного струму для тепловозів.

37. Носков В.И. Математическая модель электропривода на основе метода АКУР. / В.И. Носков, А.И. Баленко, Н.И. Заполовский // Функционально-ориентированные вычислительные системы : Международная науч.-техн. конф., октябрь 1993 г. – Киев-Харьков, 1993. – С. 20.

Здобувач розробив модель тягового електроприводу.

38. Заполовский Н.И. Исследование системы управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, А.И. Баленко // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье : Международная науч.-техн. конф., 19-21 апреля 1995 г. – Харьков: ХГПУ, 1995. – С. 168.

Здобувач запропонував спосіб керування електроприводом змінного струму з широтно-імпульсною модуляцією.

39. Заполовский Н.И. Исследование с помощью имитационного моделирования электропередачи дизель-поезда / Н.И. Заполовский, А.И. Баленко, В.И. Носков // Компьютерное моделирование. Сб. научных трудов. – Белгород: БелГТАСМ, 1998. – С. 74 – 79.

Здобувач запропонував математичну модель дизель-поїзда, структуру і параметри коректуючої ланки для системи керування.

40. Дмитриенко В.Д. Равновесные математические модели при синтезе регуляторов для систем управления тяговым приводом / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, В.И. Носков, А.И. Баленко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2002. – № 9. – С.67 – 72.

Здобувач запропонував алгоритм пошуку оптимальних наборів коефіцієнтів регуляторів, які отримано в процесі синтезу.

41. Дмитриенко В.Д. Адаптивный контроль отклонений в системах управления локомотивов с помощью нейронных сетей / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, В.И. Носков, М.В. Липчанский, Р.Д. Расрас // Проблемы інформатики і моделювання : Друга наук.-техн. конф., 28-30 листопада 2002 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2002. – С. 14.

Здобувач запропонував використання для контролю систем керування локомотивів таксономічного показника, розрахованого за допомогою нейронної мережі.

42. Дмитриенко В.Д. Обнаружение разладок в системах управления тягового подвижного состава с помощью искусственных нейронных сетей / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, В.И. Носков, М.В. Липчанский // Проблемы інформатики і моделювання : Третя наук.-техн. конф., 27-29 листопада 2003 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2003. – С. 14.

Здобувач запропонував для вирішення задач контролю та діагностики тягового рухомого складу застосовувати нейронні мережі.

43. Дмитриенко В.Д. Применение нейронных сетей для оптимизации системы управления ТАД / В.Д.Дмитриенко, В.И.Носков, Н.И.Заполовский., Н.В.Мезенцев // Проблемы інформатики і моделювання : Четверта наук.-техн. конф., 25-27 листопада 2004 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – С. 22.

Здобувач запропонував ввести в систему керування енергетичною системою дизель-поїзда коректуючі пристрої на основі нейронних мереж.

44. Носков В.И. Использование новых информационных технологий на тяговом подвижном составе / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский // Инфотелекоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании : Первая международная науч.-техн. конф., 19 декабря 2004 г. – Ставрополь: Северо-Кавказский гос. техн. ун-т, 2004. – С. 302 – 304.

Здобувач запропонував використання нейромережних технологій для керування, контролю і діагностики тягового рухомого складу.

45. Носков В.И. Использование новых информационных технологий на подвижном составе / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский // Перспективы и тенденции развития электротехнического оборудования : Пятый международный симпозиум ЭЛМАШ., 11-15 октября 2004 г. – М., 2004. – Т. 2. – С. 112–117.

Здобувач запропонував інформаційно-обчислювальний комплекс, який використовує для діагностики і контролю рухомого складу нейронної мережі.

46. Носков В.И. Оптимизация динамических режимов работы тягового электропривода постоянного тока / В.И. Носков, М.В. Липчанский // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2005. – № 1 (10). – С. 65 – 70.

Здобувач сформулював задачу оптимального керування для тягового електроприводу постійного струму та запропонував алгоритм рішення задачі.

47. Носков В.И. Интеллектуальная система для поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, М.В. Липчанский, А.Ю. Заковоротный // Автоматика-2005 : 12-та Міжнародна конференція з автоматичного керування, 30 травня – 3 червня 2005 р. – Харків: НТУ "ХПІ", 2005. – Т. 1. – С. 185.

Здобувач запропонував структуру інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень і використання в ній нейронних мереж адаптивної резонансної теорії для розпізнавання динамічних режимів.

48. Носков В.И. Синтез системы векторного управления тяговым электроприводом дизель-поезда. / В.И. Носков, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Проблемы інформатики і моделювання : П'ята наук.-техн. конф., 24-26 листопада 2005 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – С. 19.

Здобувач сформулював і довів узагальнену теорему для методу аналітичного конструювання регуляторів по критерію узагальненої роботи.

49. Дмитриенко В.Д. Новые алгоритмы обучения дискретных нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, И.П. Хавина // Проблемы інформатики і моделювання : Шоста наук.-техн. конф., 23-25 листопада 2006 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – С. 3 – 4.

Здобувач запропонував нові мережі адаптивної резонансної теорії.

50. Заполовский Н.И. Исследование алгоритмов синтеза терминальных управлений движением поезда / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, И. Яр-Мухамедов // Проблемы інформатики і моделювання : Восьма наук.-техн. конф., 26-28 листопада 2008 р. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – С. 22.

Здобувач запропонував систему керування рухом поїзда з використанням методу термінального керування з мінімізацією економічних витрат.

АНОТАЦІЇ

Носков В.І. Створення тягового електроприводу моторвагонних поїздів на основі нових інформаційних технологій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09. – «Електротранспорт». Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, – 2009.

Дисертація присвячена розвитку наукових основ теорії підвищення економічних, енергетичних і тягових характеристик електроприводу моторвагонних поїздів на основі створення тягового асинхронного привода (ТАП), його системи автоматичного керування і інформаційно-вимірювальної системи (ІВС).

Розроблена математична модель тягового електроприводу моторвагонного поїзда, що дозволила оптимізувати систему керування ТАП. Створена сучасна ІВС, яка підвищила ефективність і надійність роботи ТАП. Для вирішення задач керування, контролю і діагностики стану ТАП розроблені основи теорії синтезу оптимальних по критерію узагальненої роботи регуляторів для випадку, коли керування входить під знаки безперервних функцій, основи теорії застосування нейронних мереж в ТАП і нові нейронні мережі.

Ключові слова: економічні, енергетичні, тягові характеристики електроприводу, система автоматичного керування, інформаційно-вимірювальна система, контроль і діагностика стану тягового асинхронного електроприводу.

Носков В.И. Создание тягового электропривода моторвагонных поездов на основе новых информационных технологий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.09. – «Электротранспорт». Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Харьков, – 2009.

Диссертация посвящена развитию научных основ теории повышения экономических, энергетических и тяговых характеристик моторвагонного подвижного состава пригородного сообщения. На основании проведенного анализа показано, что основным недостатком существующего подвижного состава пригородного сообщения является использование устаревшего тягового привода постоянного тока, который по экономическим, энергетическим и тяговым характеристикам существенно уступает тяговому приводу с асинхронными двигателями. Обоснована необходимость при создании современного тягового привода использование информационных технологий на базе вычислительной техники и достижений искусственного интеллекта.

Разработана математическая модель дизель-поезда с асинхронным приводом, которая позволяет исследовать и оптимизировать функционирование электропривода во всех основных режимах работы привода. На основе разработанной модели проведено исследование

динамических режимов электропривода, выбрана оптимальная структура системы управления приводом и с учетом экспериментальных данных оптимизированы ее параметры.

Для асинхронного тягового привода разработана современная информационная система, позволившая сократить сроки наладки, повысить эффективность и надежность работы привода в режимах его эксплуатации, а также открывшая возможность для решения в реальном времени задач поддержки принятия решений машинистом, контроля, диагностики и управления с использованием прогрессивных технологий искусственного интеллекта и теории оптимального управления.

Разработана математическая модель электропоезда с тяговыми электродвигателями постоянного тока, на основе которой создана программа синтеза оптимальных управлений для разгона электропоезда для случаев минимизации расхода энергии или минимизации времени разгона с учетом ограничений, определяемых характеристиками участка пути, по которому следует электропоезд, и характеристиками тягового электропривода поезда. С помощью этой модели, принципа максимума Понтрягина и скобок Пуассона синтезирована структура регулятора, обеспечивающего оптимальный разгон электропоезда.

Разработаны основы теории синтеза оптимальных регуляторов по критерию обобщенной работы для случая, когда управления входят под знаки непрерывных функций. Поскольку задача определения параметров регулятора может быть сформулирована в рамках теории равновесий, где поиск глобального решения или равновесия по Нэшу требует чрезмерных вычислительных затрат, то в связи с этим предложено несколько общих рациональных численных методов решений задач управления с помощью метода АКОР. Развитие теории АКОР и численных методов определения параметров регуляторов расширили область возможного применения метода и позволили синтезировать оптимальные регуляторы для моторвагонного подвижного состава.

Обоснована необходимость совершенствования методов и алгоритмов контроля, диагностики и прогнозирования состояния электропривода моторвагонного подвижного состава, а также создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений машинистом на основе современных средств искусственного интеллекта. С позиций решения задач синтеза систем управления и контроля тяговыми, динамическими и энергетическими характеристиками моторвагонного подвижного состава проанализированы недостатки наиболее перспективных нейронных сетей адаптивной резонансной теории, не позволяющие их эффективно использовать в реальных системах управления. Разработаны основы теории нового метода обучения дискретных нейронных сетей АРТ без адаптации весов связей сети в процессе обучения и на его основе предложен ряд новых алгоритмов.

Предложены архитектуры дискретных нейронных сетей, обеспечивающие различные значения параметров сходства для различных изображений и позволяющие изменять параметр сходства изображений в процессе распознавания динамических режимов, что открыло возможность использования этих сетей для распознавания динамических режимов, протекающих на границе двух или более характерных зон. Новые результаты в теории сетей АРТ позволили решить конкретные задачи разработки систем поддержки принятия решений машинистом, в частности, для управления режимами разгона моторвагонного подвижного состава.

Разработанная система управления тяговым электроприводом с асинхронными двигателями и информационно-измерительная система, которые выполнены на основе современных информационных технологий, внедрены на первых украинских дизель-поездах ДЭЛ-02.

Ключевые слова: экономические, энергетические, тяговые характеристики электропривода, система автоматического управления, информационно-измерительная система, контроль и диагностика состояния тягового асинхронного электропривода.

Noskov V.I. Creation tractive electric drive motor-carriage trains on the basis of new information technologies. – Manuscript.

Thesis on reception scientific degree doctor of technical sciences for profession 05.22.09. – «Electrical transport». National technical university «Kharkov polytechnic institute». Kharkov, – 2009.

Thesis is dedicated to the development of scientific principles of the theory of increasing economical, energy and tractive characteristics of the motor-carriage rolling stock of suburban traffic on the basis of the creation of tractive induction motor drive, it's system of automatic control and data-measuring system for the first Ukrainian diesel trains.

Mathematical model of the diesel train with tractive induction drive, allowing to optimize the system of tractive induction drive control, was developed. Modern data-measuring system, increasing efficiency and reliability of tractive induction motor drive, was created. For solving tasks of management, control and diagnostics of the state of tractive induction motor drive bases of the theory of synthesis were developed optimum on the criterion of the generalized work of regulator for the case, when managements enter under the signs of analog functions, bases of the theory of using neural networks in tractive induction motor drive and new neural networks were developed.

Keywords: economic, energetic, tractive characteristics electric drive, system of automatic control, informative-measuring system, control and diagnostics of the state of tractive electric drive.

Підписано до друку « ____ » _____ 2009 р. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Друк – ризографія. Умовн. друк. арк. 1,9.
Наклад 100 прим. Зам. №

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16