

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Заковоротний Олександр Юрійович

УДК 681.5:681.518

**СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РУХОМ
ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дмитрієнко Валерій Дмитрович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри обчислювальної техніки та
програмування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Науково-технічний центр магнетизму
технічних об’єктів НАН України, м. Харків,
завідувач відділом проблем
управління магнітним полем

кандидат технічних наук, доцент
Ситнік Борис Тимофійович,
Українська державна академія
залізничного транспорту, м. Харків,
доцент кафедри спеціалізованих
комп’ютерних систем

Захист відбудеться “24” 06 2010 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 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 “12” 05 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.П. Северин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Від стану залізничного транспорту, що забезпечує до 80% усього вантажообігу країни й споживає велику кількість енергоресурсів, значною мірою залежить подальший успіх економічного розвитку України. Тому важливою науково-господарською та науково-технічною проблемою є удосконалення функціонування залізниці шляхом підвищення ефективності тягового рухомого складу за рахунок поліпшення його експлуатаційних характеристик.

В умовах підвищення інтенсивності роботи, збільшення швидкостей руху, необхідності зниження паливно-енергетичних витрат залізничного транспорту зростає роль автоматизації процесів керування тяговим рухомим складом, оскільки психофізіологічні можливості людини-машиніста починають не відповідати умовам його праці. Зокрема, це стосується визначення раціональних режимів ведення поїздів, що вимагає переробки значних обсягів інформації про параметри рухомого складу та умов руху, обмеження на швидкість, метеорологічні умови, профіль колії. У зв'язку з цим автоматизація ведення рухомого складу на основі розробки систем підтримки прийняття рішень машиністом, які дозволяють у реальних умовах експлуатації поїзда забезпечувати графік руху при мінімальних паливно-енергетичних витратах, є завданням, що має незаперечну значущість. Тому розробка, з метою автоматизації процесів керування, системи підтримки прийняття рішень для машиніста дизель-поїзда вітчизняного виробництва з новим тяговим електроприводом на основі асинхронних двигунів, є безсумнівно актуальним завданням, що визначає напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі “Обчислювальна техніка та програмування” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт “Розробка теорії і методів штучного інтелекту для моделювання й оптимізації динамічних об’єктів” (ДР № 0104U003016) та “Розвиток теоретичних основ нейронних мереж адаптивної резонансної теорії для оптимізації складних процесів” (ДР № 0107U000598), де здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка системи підтримки прийняття рішень машиністом для автоматизації процесу керування рухом дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом та мінімізації витрати палива при експлуатації об’єкту керування.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- виконати аналіз сучасних систем підтримки прийняття рішень машиністом, які застосовуються на залізничному транспорті для автоматизації процесів керування рухом дизель-поїздів, сформулювати завдання вдосконалення системи підтримки прийняття рішень машиністом дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом;
- розробити математичні моделі функціонування реального об’єкту для

дослідження системи підтримки прийняття рішень машиністом у режимах розгону, тяги, вибігу й гальмування;

- удосконалити метод тягових розрахунків для дизель-поїзда ДЕЛ-02 й підвищити його точність за рахунок уточнення математичних моделей процесів руху й керування рухомим складом, а також автоматизувати виконання як попередніх тягових розрахунків основних параметрів руху дизель-поїзда, так і їхнього перерахування у випадку виникнення під час руху змін погодних умов або дорожньої ситуації;

- розробити лінійну модель об'єкта керування у канонічній формі Бруновського, еквівалентну нелінійній моделі, яка дозволяє виконати синтез системи оптимального керування, що мінімізує енергетичні витрати при експлуатації дизель-поїзда;

- розробити нейронну мережу для реалізації бази знань системи підтримки прийняття рішень машиністом дизель-поїзда, яка б здійснювала компактне зберігання інформації, що необхідна машиністу для автоматизації процесів оптимального ведення дизель-поїзда по залізничному перегону;

- розробити й реалізувати систему підтримки прийняття рішень машиністом, яка у реальних умовах експлуатації рухомого складу й поточної зміни дорожньої обстановки буде рекомендувати машиністу закон керування, при якому дотримується графік руху й мінімізується витрата палива;

- провести експериментальні дослідження системи підтримки прийняття рішень машиністом на математичних моделях функціонування тягового електроприводу і реальному об'єкті, підтвердити правильність запропонованих рішень по автоматизації процесів керування рухом дизель-поїзда за допомогою дослідження розроблених систем, методів та алгоритмів на математичних моделях й реальному об'єкті.

Об'єкт дослідження – процеси керування рухомим складом залізничного транспорту з тяговим асинхронним приводом.

Предмет дослідження – система підтримки прийняття рішень машиністом для автоматизації процесу керування рухом дизель-поїзда.

Методи дослідження. Геометрична теорія керування використана при розробці лінійної математичної моделі функціонування об'єкта керування у формі Бруновського; метод тягових розрахунків – при розрахунку основних параметрів руху дизель-поїзда по залізничному перегону; методи теорії оптимального керування – при визначенні законів керування дизель-поїздом; математичне моделювання – при уточненні законів керування тяговим асинхронним приводом та перевірці працездатності системи підтримки прийняття рішень машиністом; методи штучного інтелекту, нейронних мереж та теорії розпізнавання образів – при розробці бази знань системи підтримки прийняття рішень машиністом.

Наукова новизна одержаних результатів. Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, дозволили одержати такі наукові результати:

- вперше розроблена лінійна математична модель функціонування тягового асинхронного електропривода, еквівалентна нелінійній моделі, яка

дозволяє виконувати моделювання та синтез системи керування тяговим приводом в просторі “вхід – стан”;

- вперше запропоновано метод керування тяговим рухомим складом з асинхронним електроприводом на основі динамічної лінеаризації в просторі “вхід – стан” методами геометричної теорії керування, що дозволяє формувати оптимальний тяговий момент дизель-поїзда у реальному часі й мінімізувати енергетичні витрати при виконанні поїзної роботи;

- вперше запропонована нейронна мережа адаптивної резонансної теорії, яка має як властивості двонаправленої асоціативної пам'яті, так і асоціативної пам'яті, що видає по вхідному вектору два зображення, які асоціативні між собою та вхідним вектором, що дозволило збільшити гнучкість спеціалізованих баз знань і, зокрема, розробити базу знань, яка дозволяє по запити машиніста видавати візуальну інформацію про закон керування дизель-поїздом на будь-якому заданому перегоні маршруту руху состава;

- одержала подальший розвиток архітектура нейронних мереж адаптивної резонансної теорії з додатковим шаром керуючих нейронів, які здатні блокувати нейрони вхідного шару, що дозволяє усувати вплив накопиченої передісторії й здійснювати автоматичне розпізнавання динамічних режимів, які протікають на границі двох або більшого числа різних класів процесів;

- одержала подальший розвиток архітектура безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії (АРТ) за рахунок зміни нормування компонент вхідного вектора, що дозволяє виконувати більш тонку класифікацію динамічних процесів об'єкта керування та більш точно керувати цими процесами;

- одержала подальший розвиток система підтримки прийняття рішень машиністом для вітчизняного рухомого складу з тяговим асинхронним приводом на основі використання спеціалізованої бази знань, підвищення точності тягових розрахунків та визначення в реальному часі оптимальних законів керування за допомогою математичної моделі у формі Бруновського, що дозволяє мінімізувати енергетичні витрати рухомого складу під час руху по заданому маршруту при зміні погодних умов і дорожньої ситуації.

Практичне значення одержаних результатів:

- створена програмна реалізація бази знань та системи підтримки прийняття рішень машиністом, яка дозволяє у реальних умовах експлуатації рухомого складу здійснювати допомогу машиністу у виборі оптимальних режимів ведення дизель-поїзда;

- створена підпрограма тягових розрахунків, яка дозволяє розраховувати оптимальну траєкторію руху дизель-поїзда та перераховувати її у випадку зміни погодних умов або дорожньої обстановки на перегоні;

- реалізовані математичні моделі функціонування тягового асинхронного електропривода з розробленою системою підтримки прийняття рішень машиністом (СППРМ), що дозволило на стадії проектування звести експериментальні дослідження до процесу багаторазового моделювання.

Результати роботи використані: на ДП завод “Електроважмаш”

(м. Харків) при розробці системи керування дизель-поїздом з електроприводом змінного струму; ВАТ Український науково-дослідний інститут силової електроніки “Перетворювач” (м. Запоріжжя) при впровадженні системи керування дизель-поїздом; в навчальному процесі НТУ “ХП” на кафедрі “Обчислювальна техніка та програмування” при викладанні учбових дисциплін “Нейрокомп’ютери” та “Основи нейрокомп’ютерів”, а також у курсових та дипломних роботах студентів напряму 7.050102 “Комп’ютерна інженерія”.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: запропоновані архітектура й алгоритми роботи безперервної нейронної мережі АРТ, здатної запам’ятовувати й розпізнавати режими функціонування реальних динамічних об’єктів; запропоновані архітектура й алгоритми роботи дискретної нейронної мережі АРТ для ідентифікації оптимальних режимів руху дизель-поїзда; запропоновані архітектура й алгоритми роботи бази знань СППРМ побудованої на ДАП, що здійснює компактне зберігання інформації, необхідної машиністу для оптимального ведення дизель-поїзда; отримана за допомогою геометричного методу лінійна модель функціонування тягового асинхронного привода дизель-поїзда в канонічній формі Бруновського; отримана структура регулятора для оптимального керування дизель-поїздом за допомогою принципу максимуму й моделі об’єкта керування; запропонована СППРМ, яка дозволяє в реальних умовах експлуатації рухомого складу здійснювати допомогу машиністу у виборі оптимальних режимів ведення дизель-поїзда; розроблена модель руху дизель-поїзда на підставі методу тягових розрахунків.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків, 2003, 2006, 2007, 2009); 4 – 9 міжнародних науково-технічних конференціях “Проблеми інформатики та моделювання” (Харків, 2004 – 2009); 12-й міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика” (Харків, 2005); всеросійському навчально-технічному семінарі “Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания” (Белгород, 2006); 11-му міжнародному молодіжному форумі “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке” (Харків, 2007); 4-й науковій конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (Харків, 2008); 1-й міжнародній науково-технічній конференції “Компьютерные науки и технологии” (Белгород, 2009); II-му та III-му обласному конкурсі “Найкращий молодий науковець Харківщини” (Харків, 2007, 2008).

Публікації. Матеріали досліджень, представлені в дисертаційній роботі, опубліковано у 24 наукових працях: з них 8 – у фахових наукових виданнях ВАК України, 2 – патенти України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 277 сторінок, серед них: 41 рисунок на 32 окремих сторінках, 10 рисунків за текстом, 3 таблиці на 12 окремих сторінках, 6 додатків на 64 сторінках, 168 найменувань використаних джерел на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено методи вирішення поставлених задач, сформульовано наукову новизну роботи та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі здійснений аналіз досліджень, проведених вченими та фахівцями в області автоматизації процесів керування, який показав, що на сьогоднішній день найбільш актуальним завданням в області вдосконалювання й розвитку залізничного транспорту є завдання створення бортових комп'ютерних СППРМ, які оптимізують процеси перевезення вантажів та пасажирів, підвищуючи економічність рухомого складу по витраті палива, а також завдання автоматизації процесів керування залізничним транспортом і вдосконалювання систем керування поїздів з тяговим асинхронним електроприводом.

У другому розділі створена структура СППРМ для автоматизації процесу керування рухом дизель-поїзда. Розглянуті питання одержання на підставі методу тягових розрахунків, який дотепер використовується на вітчизняній залізниці, траєкторій й основних параметрів руху, створених в Україні дизель-поїздів з тяговим асинхронним електроприводом. Розглянуті питання подальшого їхнього уточнення на існуючих та спеціально розроблених для цього математичних моделях основних стадій руху дизель-поїзда: розгін, тяга, вибіг та гальмування.

Для дизель-поїзда ДЕЛ-02 запропонована бортова комп'ютерна СППРМ, яка у реальному часі видає машиністу дизель-поїзда необхідну інформацію для ведення рухомого складу. Дана система дозволяє в реальних умовах експлуатації рухомого складу й поточної зміни дорожньої обстановки видавати закон керування дизель-поїздом, при якому витрата палива буде мінімальною.

Структура СППРМ дизель-поїзда містить: базу знань (БЗ), що зберігає електронні маршрутні карти (МК) руху состава для всіх перегонів, підсистему збору, обробки та реєстрації даних й керування (ПЗОРДК), підсистеми тягових розрахунків (ТР) на основі алгебраїчних та диференціальних моделей руху поїзда, а також блок для пошуку оптимальних керувань тяговим асинхронним приводом.

Заповнення БЗ здійснюється, з одного боку, від ПЗОРДК у вигляді даних про поїздки досвідчених машиністів, а з іншого боку, електронними МК, які відповідають оптимальним по витраті палива програмним траєкторіям, отриманим у результаті багаторазово проведених обчислень за допомогою вбудованої підсистеми ТР.

Із БЗ машиніст дизель-поїзда до початку руху одержує графіки зміни у часі швидкості руху поїзда, позицій контролера машиніста (КМ) та гальмівного контролера, які необхідні йому для забезпечення руху поїзда з початкового у кінцевий пункт призначення по заданій ділянці шляху з дотриманням графіка руху при поточних погодних умовах. Дотепер при виникненні в процесі руху состава ситуацій, що ведуть до відхилення від розрахованого графіка руху,

шлях, який залишився до кінцевого пункту призначення, машиніст дизель-поїзда виконував, ґрунтуючись на своєму досвіді, що часто вело до перевитрати енергоресурсів. Для усунення негативного впливу умов, що змінюються, СППРМ дозволяє перераховувати траєкторії руху состава з поточного положення на перегоні до кінцевого пункту призначення при кожній зміні дорожньої ситуації.

ПЗОРДК у реальному часі робить опитування датчиків та пристроїв системи керування, виконує обробку, масштабування й фільтрацію отриманих сигналів, а також нормалізацію й перетворення даних у формати, що відповідають фізичним сигналам в об'єкті керування, та сигналам що є зручними для сприйняття машиністом. В підсистемі ТР використовуються два види математичних моделей: нелінійна модель, що відбиває основні процеси у дизель-поїзді та модель у канонічній формі Бруновського, яка використовується для визначення оптимальних за мінімумом заданого функціонала керуючих впливів. Моделі об'єкта керування уточнюються на підставі даних, що одержані від ПЗОРДК. Розраховані керуючі впливи надходять на вхід системи керування, яка здійснює керування тяговим асинхронним електроприводом дизель-поїзда на конкретній ділянці шляху при поточних погодних умовах та заданих обмеженнях по швидкості і часу.

Розроблені й реалізовані диференціальні математичні моделі функціонування дизель-поїзда, представлені в нерухливій прямокутній та у обертовій синхронній системі координат, які дозволяють робити дослідження основних процесів, що протікають у приводі дизель-поїзда, відповідно по миттєвих і середніх значеннях. Розроблені моделі використовувались для синтезу оптимальних законів керування при веденні рухомого складу в режимах тяги, підтримки постійної швидкості, вибігу й гальмування.

Проведений порівняльний аналіз графіків зміни у часі швидкості руху дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом на різних профілях залізничної колії, отриманих, з одного боку, за допомогою спрощених алгебраїчних виразів, які застосовуються в ТР, а з іншого боку, за допомогою розрахунків, проведених на розроблених моделях дизель-поїзда. З проведеного аналізу слідує, що на рівній ділянці шляху графіки зміни швидкості руху дизель-поїзда, які отримані за допомогою математичної моделі, алгебраїчних виразів ТР та ПЗОРДК реального дизель-поїзда ДЕЛ-02, практично збігаються, що свідчить про адекватність отриманих результатів. Однак на ділянках шляху із профілем, що змінюється, є явна розбіжність результатів, які отримані за допомогою ТР, розробленої математичної моделі та результатів, наданих ПЗОРДК реального дизель-поїзда ДЕЛ-02. Це пов'язане з невисокою точністю спрощених алгебраїчних виразів методу ТР, які застосовуються при розрахунку сили опору руху та пов'язані із випрямленням профілю колії. У зв'язку з цим був удосконалений метод ТР на основі розроблених диференціальних моделей, що дозволило підвищити точність розрахунків основних параметрів руху дизель-поїзда в порівнянні зі спрощеними алгебраїчними виразами методу ТР.

У третьому розділі розроблені метод та алгоритм динамічної лінеаризації математичних моделей функціонування дизель-поїзда з тяговим

асинхронним електроприводом на основі геометричної теорії керування за допомогою зворотного зв'язку у просторі “вхід – стан”, що дозволяють одержати лінійні математичні моделі функціонування об'єкта керування для всіх основних режимів його роботи.

Для одержання лінійного еквівалента нелінійної системи керування використовувалася математична модель функціонування електропривода в обертовій $d-q$ -системі $(d, q, 0)$ координат.

Для векторних полів умови їх спільного інтегрування (умови інволютивності) не виконуються, тому необхідно розширювати модель (1) функціонування тягового асинхронного приводу за допомогою введення додаткової фазової координати у канал, пов'язаний з керуванням u_2 :

$$u_1^* = u_1; x_6 = u_2; \frac{dx_6}{dt} = u_2^*.$$

З розширеною математичною моделлю функціонування тягового асинхронного електропривода дизель-поїзда пов'язані наступні векторні поля:

Для векторних полів (3) умови інволютивності виконуються, тому засобами диференціальної геометрії можливо отримати математичну модель функціонування тягового асинхронного електропривода дизель-поїзда в канонічній формі Бруновського, яка в свою чергу, дозволить виконувати синтез системи оптимального керування тяговим асинхронним приводом, забезпечуючи мінімізацію енергетичних витрат.

Еквівалент моделі (1) функціонування тягового асинхронного двигуна у формі Бруновського має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dy_i}{dt} = y_{i+1}, i = 1, 2, 4, 5; \\ \frac{dy_i}{dt} = v_k, i = 3, 6; k = i/3. \end{cases} \quad (4)$$

При цьому функції переходу до форми Бруновського мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1; y_4 = x_5; \\ y_2 &= L_{X^*} T_1(x^*) = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial T_1(x^*)}{\partial x_i} X_i^* = a_{11}x_1 + a_{21}x_1^2 + a_{124}x_2x_4; \\ y_5 &= L_{X^*} T_2(x^*) = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial T_2(x^*)}{\partial x_i} X_i^* = a_{51}x_1 + a_{524} \frac{x_4}{x_2}; \\ y_3 &= L_{X^*}^2 T_1(x^*) = L_{X^*}(L_{X^*} T_1(x^*)) = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial (L_{X^*} T_1(x^*))}{\partial x_i} X_i^* = (a_{11} + 2a_{12}x_1) \times \\ &\times (a_{11}x_1 + a_{12}x_1^2 + a_{124}x_2x_4) + a_{124}x_4(a_{21}x_2 + a_{23}x_3) + a_{124}x_2(a_{41}x_4 + x_6); \\ y_6 &= L_{X^*}^2 T_2(x^*) = L_{X^*}(L_{X^*} T_2(x^*)) = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial (L_{X^*} T_2(x^*))}{\partial x_i} X_i^* = \end{aligned}$$

$$= a_{51}(a_{11}x_1 + a_{12}x_1^2 + a_{124}x_2x_4) + \left(-a_{524}\frac{x_4}{x_2^2}\right)(a_{21}x_2 + a_{23}x_3) + \frac{a_{524}}{x_2}(a_{41}x_4 + x_6),$$

де $L_{X^*}T_i(x^*)$, $L_{X^*}^2T_i(x^*)$ – відповідно перша та друга похідна Лі функцій $T_i(x^*)$, $i = 1, 2$, уздовж векторного поля X^* .

Керування v_1 , v_2 для системи (4) визначаються наступним чином:

$$\begin{cases} v_1 = L_{X^*}^3T_1(x^*) + u_1^*L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_1(x^*)) + u_2^*L_{Y_2^*}(L_{X^*}^2T_1(x^*)); \\ v_2 = L_{X^*}^3T_2(x^*) + u_1^*L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_2(x^*)) + u_2^*L_{Y_2^*}(L_{X^*}^2T_2(x^*)), \end{cases} \quad (5)$$

де $L_{X^*}^3T_i(x^*)$ – третя похідна Лі функцій $T_i(x^*)$, $i = 1, 2$, уздовж векторного поля X^* ; u_1^* , u_2^* – керування розширеної нелінійної системи; $L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_i(x^*))$, $L_{Y_2^*}(L_{X^*}^2T_i(x^*))$ ($i = 1, 2$) – похідні Лі відповідно уздовж векторних полів Y_1^* , Y_2^* .

Система рівнянь (4) використовується для визначення оптимальних керувань v_1 , v_2 , за якими визначаються u_1^* та u_2^* із системи рівнянь (5), а потім – керування u_1 та u_2 :

$$u_1 = u_1^*; u_2 = \int_0^T u_2^* dt; u_1^* = \frac{1}{L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_1(x^*))} [v_1 - L_{X^*}^3T_1(x) - u_2^*L_{Y_2^*}(L_{X^*}^2T_1(x^*))];$$

$$u_2^* = \frac{1}{\det Q} [L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_1(x^*))(v_2 - L_{X^*}^3T_2(x)) - L_{Y_1^*}(L_{X^*}^2T_2(x^*))(v_1 - L_{X^*}^3T_1(x))],$$

де $\det Q$ – детермінант системи рівнянь (5).

Таким чином, уперше засобами диференціальної геометрії отримана працездатна модель функціонування тягового асинхронного привода в канонічній формі Бруновського для синтезу систем оптимального керування асинхронним приводом.

За допомогою принципу максимуму для першої підсистеми рівнянь (4) вирішена задача максимальної швидкодії, що дозволило одержати для кожної ділянки залізничної колії закони керування дизель-поїздом, які визначають мінімально необхідний час для подолання перегону, при відомих обмеженнях на прискорення та максимальну швидкість руху. Вирішена також задача мінімізації зваженої лінійної комбінації часу руху та витрати квадрата керування, що дозволило одержати закони керування дизель-поїздом, які забезпечують графік руху та мінімізацію витрати палива.

На основі геометричної теорії керування розроблена структура регулятора, що на підставі даних, які поступають від об'єкта керування, формує оптимальні керуючі впливи.

Четвертий розділ присвячений створенню БЗ СППРМ на основі нейронної мережі АРТ, що самонавчається та володіє властивостями двонаправленої асоціативної пам'яті (ДАП).

База знань СППРМ зберігає узагальнені дані про траєкторії та маршрутні карти руху дизель-поїзда, які необхідні машиністу у процесі ведення состава. Це пов'язане з тим, що під час поїздки машиніст дизель-поїзда не в змозі чітко за часом витримати заздалегідь розраховану за допомогою ТР маршрутну карту руху поїзда, що і сама по собі прорахована неточно, через використання в підсистемі ТР узагальнених коефіцієнтів. Тому, для зручності машиніста дизель-поїзда, з метою підвищення точності перемикачів у часі позицій КМ, необхідно візуалізувати поточну траєкторію руху состава та накладати її на узагальнені поля траєкторій, отримані за експериментальними або розрахованими даними.

Поля траєкторій, що зберігаються в БЗ СППРМ для кожного залізничного перегону маршруту, являють собою оптимальні за витратою палива сімейства траєкторій, що враховують можливі зміни погодних умов. Таким чином, в процесі керування дизель-поїздом для втримання траєкторії руху состава у полі, що відповідає поточному режиму, при зміні погодних умов, а значить й значення загального опору руху поїзда, величину додаткового опору можна компенсувати зміною позиції тягового КМ. Це, у свою чергу, змінює затрачувану поїздом енергію та дозволяє провести состав по перегону, не виходячи за рамки припустимих відхилень по загальній витраті палива.

Застосування ДАП полягає у тому, що до початку руху дизель-поїзда машиніст задає (входи A_1, \dots, A_m) відомі йому параметри руху по маршруту (номер перегону та погодні умови). За цими даними з пам'яті ДАП відновлюються два асоціативних зображення: поле (нейрони S_1^1, \dots, S_n^1) зміни у часі швидкості руху рухомого складу, а також поле (нейрони S_1^2, \dots, S_k^2) стратегій перемикачів КМ, дотримуючись якого машиніст проведе состав відповідно до розкладу, затративши при цьому мінімальну кількість палива.

При створенні ДАП запропонована безперервна нейронна мережа АРТ з новим нормуванням компонент вхідного вектора, що дозволяє відносити динамічні процеси, однакові за формою, але різні по амплітуді, до різних класів зображень. При автоматичному розпізнаванні режимів функціонування динамічних об'єктів за допомогою мереж АРТ з'ясувалося, що при знаходженні вхідного зображення на границі двох сусідніх класів зображень відбувається зниження параметра подібності для обох класів зображень, у результаті чого вхідне зображення не може бути однозначно віднесене до жодного з відомих класів зображень.

Для розпізнавання вхідних процесів, що протікають на границі двох сусідніх класів зображень, які зберігаються у пам'яті нейронної мережі АРТ, уведений додатковий H -шар керуючих нейронів.

Нейрони H -шару мають структуру ланцюга та необхідні для блокування нейронів вхідного шару по наступному алгоритму: у випадку, коли вхідне зображення не резонує з жодним із відомих зображень, активізується перший нейрон H -шару, який блокує частину поля вхідних нейронів, які сприймають інформацію про початкову ділянку процесу, що ідентифікується. Якщо після блокування першої частини вхідних нейронів розпізнати вхідне зображення не

вдається, то активізується наступний нейрон H -шару й блокується додаткова частина вхідних нейронів. Цикл активізації додаткових керуючих нейронів H -шару триває доти, поки не з'явиться активний нейрон у шарі, що розпізнає, тобто динамічний процес буде розпізнаний по якійсь його останній частині. Блокування частини поля вхідних нейронів усуває вплив накопиченої передісторії, коли спостерігаються коливання між областями, та визначення режиму роботи виконується тільки по поточному стану системи.

П'ятий розділ присвячений опису програмної реалізації розробленої бортової комп'ютерної СППРМ дизель-поїзда, а також експериментальному підтвердженню її працездатності.

Проведені дослідження СППРМ дизель-поїзда на моделях та у реальних умовах експлуатації рухомого складу дозволяють зробити висновок про її працездатність та можливість подальшого використання на дизель-поїздах з тяговим асинхронним електроприводом, що створюються в Україні.

У додатках наведені: основні співвідношення методу ТР; теорема про лінійний еквівалент для нелінійної афінної системи з векторним керуванням; розрахунок числа можливих варіантів руху рухомого складу; обґрунтування вибору нейронної мережі АРТ-2; алгоритм навчання ДАП на основі штучних нейронних мереж АРТ-2Д; документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача розробки системи підтримки прийняття рішень для автоматизації процесу керування рухом дизель-поїзда з тяговим асинхронним електроприводом. Отримані наступні основні результати:

1. На основі проведеного аналізу сучасних систем автоматизованого керування рухом поїздів, які використовуються на залізничних шляхах світу, визначена важлива роль систем підтримки прийняття рішень машиністом, виявлені їхні недоліки та сформульовані актуальні задачі їхнього вдосконалення.

2. Розроблені математичні моделі, представлені у нерухливій прямокутній та у обертовій синхронній системі координат, що адекватно відображають процеси, які протікають у реальному об'єкті керування, відповідно по миттєвим та середнім значенням й дозволяють провести дослідження системи підтримки прийняття рішень машиністом дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом в режимах розгону, тяги, вибігу й гальмування.

3. До дизель-поїзда ДЕЛ-02 адаптовано метод тягових розрахунків, підвищена точність тягових розрахунків у порівнянні зі спрощеними алгебраїчними виразами за рахунок уточнення диференціальних математичних моделей процесів руху та керування рухомим складом, а також автоматизоване виконання тягових розрахунків, що дозволило виконувати як попередній розрахунок основних параметрів руху дизель-поїзда, так і їх перерахування у випадку виникнення під час руху змін погодних умов або дорожньої ситуації.

4. Розроблено метод та алгоритм динамічної лінеаризації математичних

моделей функціонування рухомого складу з тяговим асинхронним приводом за допомогою геометричної теорії керування та зворотного зв'язку в просторі “вхід – стан”, які дозволили одержати лінійну математичну модель функціонування електропривода дизель-поїзда в канонічній формі Бруновського, еквівалентну нелінійної моделі об'єкта керування. За допомогою цієї моделі та принципу максимуму розв'язана задача максимальної швидкодії, що дозволило одержати для кожної ділянки залізничної колії закони керування дизель-поїздом, які визначають мінімально необхідний час для подолання перегону при відомих обмеженнях на прискорення та максимальну швидкість руху. Розв'язана задача мінімізації зваженої лінійної комбінації часу руху та витрати квадрата керування, що, у свою чергу, дозволило одержати відповідні закони керування дизель-поїздом. За допомогою теорії керування розроблена структура регулятора, яка формує оптимальні керуючі впливи на підставі даних, що поступають від реального об'єкта керування.

5. Розроблена штучна нейронна мережа з трьома входами, яка має як властивості двонаправленої асоціативної пам'яті, так і асоціативної пам'яті, що видає по вхідному векторові два зображення, які асоціативні між собою та вхідним вектором, та побудована на базі безперервних нейронних мереж адаптивної резонансної теорії, що дозволило здійснити компактне зберігання інформації, необхідної машиністу для автоматизації процесів оптимального ведення дизель-поїзда по залізничному перегону та реалізувати базу знань системи підтримки прийняття рішень машиністом.

6. Розроблена та реалізована бортова комп'ютерна система підтримки прийняття рішень машиністом дизель-поїзда на основі спеціалізованої бази знань, тягових розрахунків та математичної моделі у формі Бруновського, яка у реальних умовах експлуатації рухомого складу й поточної зміни дорожньої обстановки видає машиністу закон керування, при якому дотримується графік руху дизель-поїзда при мінімальній витраті палива, та необхідну інформацію для ведення рухомого складу по залізничному перегону.

7. На математичних моделях і реальному об'єкті керування проведені експериментальні дослідження підсистеми тягових розрахунків системи підтримки прийняття рішень машиністом, законів оптимальних керувань рухомим складом та електроприводом, які підтвердили достовірність запропонованих рішень по автоматизації процесів керування рухом дизель-поїзда.

8. Розроблена система підтримки прийняття рішень машиністом впроваджена на ДП завод “Електроважмаш” (м. Харків) та ВАТ Український науково-дослідний інститут силової електроніки “Перетворювач” (м. Запоріжжя) при розробці системи керування дизель-поїздом з електроприводом змінного струму, що дозволило знизити до 15% енергетичні витрати, необхідні для ведення дизель-поїзда по складному профілю залізничної колії. Розроблені нейронні мережі впроваджені в навчальному процесі на кафедрі “Обчислювальна техніка та програмування” НТУ “ХПІ” при викладанні учбових дисциплін “Нейрокомп'ютери” та “Основи нейрокомп'ютерів”, а також у курсових та дипломних роботах студентів

напряму 7.050102 “Комп’ютерна інженерія”.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Заковоротный А.Ю. Нейронная сеть для предварительной обработки плоских изображений / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, А.Ю. Заковоротный // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 19. – С. 56–62.

Здобувачем проаналізована проблема розпізнавання образів за допомогою нейронних мереж.

2. Заковоротный А.Ю. Вычислительное устройство для распознавания режимов функционирования динамических объектов / В.Д. Дмитриенко, В.М. Терехина, А.Ю. Заковоротный // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – № 34. – С. 70–81.

Здобувач модифікував нейронну мережу АРТ-2, що дозволило розпізнавати динамічні процеси в технічних системах.

3. Заковоротный А.Ю. 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”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – № 46. – С. 90–96.

Здобувачем розроблений метод ідентифікації динамічних режимів розгону дизель-поїзда з використанням дискретних нейронних мереж АРТ.

4. Заковоротный А.Ю. Идентификация режимов функционирования динамических объектов с использованием нейронных сетей АРТ / В.И. Носков, М.В. Липчанский, А.Ю. Заковоротный // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – № 54. – С. 56–61.

Здобувач розробив архітектуру та алгоритми роботи нейронної мережі для ідентифікації режимів функціонування динамічних об'єктів.

5. Заковоротный А.Ю. Двухнаправленная ассоциативная память на основе нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, М.В. Липчанский // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – № 56. – С. 193–204.

Здобувачем розроблені архітектура й алгоритми навчання та роботи ДАП, побудованої на основі дискретних нейронних мереж АРТ-1.

6. Заковоротный А.Ю. Динамическая линеаризация с помощью обратной связи математической модели тягового привода / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – № 40. – С. 49–57.

Здобувач лінеаризував модель тягового асинхронного привода дизель-поїзда за допомогою геометричної теорії керування.

7. Заковоротный А.Ю. Линеаризация математической модели привода

методами дифференциальной геометрии / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. – № 19. – С. 64–77.

Здобувачем отримана лінійна модель об'єкта керування в канонічній формі Бруновського, яка повністю еквівалентна нелінійній моделі.

8. Заковоротный А.Ю. Синтез оптимальных законов управления тяговым электроприводом методами дифференциальной геометрии и принципа максимума / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 4 (78). – С. 42–51.

Здобувач розв'язав задачу оптимального керування дизель-поїздом за допомогою принципу максимуму та лінійної моделі об'єкта керування.

9. Пат. 18624 Україна, МПК G06G7/00. Пристрій двонаправленої асоціативної пам'яті / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю.; заявник та володар патенту НТУ “ХПІ”. – № u 2006 05460; заявлено 19.05.2006; опубліковано 15.11.2006. – Бюл. № 11.

Здобувачем розроблена ДАП, яка побудована на основі дискретних нейронних мереж АРТ-1.

10. Пат. 33321 Україна, МПК G06G7/00. Пристрій двонаправленої аналого-дискретної асоціативної пам'яті / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю., Романов О.Ю.; заявник та володар патенту НТУ “ХПІ”. – № u 2008 00804; заявлено 23.01.2008; опубліковано 10.06.2008. – Бюл. № 11.

Здобувач розробив штучну нейронну мережу ДАП, яка побудована на базі дискретних й безперервних нейронних мереж АРТ.

11. Заковоротный А.Ю. Непрерывная нейронная сеть АРТ для распознавания режимов функционирования динамических объектов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Научные ведомости. – Белгород, 2006. – № 1 (21). – Вып. 2. – С. 119–127.

Здобувачем розроблена архітектура та алгоритми функціонування безперервної штучної нейронної мережі АРТ-2Д.

12. Заковоротный А.Ю. Двухнаправленная ассоциативная память на основе непрерывных нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Научные ведомости. – Белгород, 2006. – № 2 (31). – Вып. 3. – С. 20–32.

Здобувач запропонував ДАП, яка побудована на основі безперервних нейронних мереж АРТ-2Д.

13. Заковоротный А.Ю. Динамическая линеаризация математической модели электрического привода методами геометрической теории управления / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Научные ведомости. – Белгород, 2007. – № 7 (38). – Вып. 4. – С. 93–107.

Здобувачем виконана динамічна лінеаризація моделі тягового асинхронного привода дизель-поїзда.

14. Заковоротный А.Ю. Проблемы определения оптимальных режимов ведения дизель-поезда / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, М.В. Липчанский,

А.Ю. Заковоротный // Проблемы информатики и моделирования: 4-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2004. – С. 20.

Здобувач розробив метод ідентифікації режимів розгону дизель-поїзда на дискретних нейронних мережах АРТ-1.

15. Заковоротный А.Ю. Проблемы определения оптимальных режимов ведения дизель-поезда / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, М.В. Липчанский, А.Ю. Заковоротный // Автоматика-2005: 12-а міжнар. конф. з автомат. управ., тези доп. – Харків, 2005. – Т.1. – С. 185.

Здобувачем реалізована система розпізнавання режимів роботи дизель-поїзда на основі дискретних нейронних мереж АРТ-1.

16. Заковоротный А.Ю. Непрерывная нейронная сеть АРТ-2Д для распознавания динамических процессов / А.Ю. Заковоротный // Проблемы информатики и моделирования: 5-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2005. – С. 24.

17. Заковоротный А.Ю. Иерархические нейронные сети для управления и диагностики тягового асинхронного электропривода / А.Ю. Заковоротный // Проблемы информатики и моделирования: 6-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2006. – С. 23.

18. Заковоротный А.Ю. Решение задачи управления тяговым асинхронным приводом с помощью геометрического метода / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 11-й міжнародний молодіжний форум, тези доп. – Харків, 2007. – Ч.2. – С. 161.

Здобувач виконав лінеаризацію моделі тягового асинхронного привода дизель-поїзда за допомогою геометричної теорії керування.

19. Заковоротный А.Ю. Двонаправлена аналого-дискретна асоціативна пам'ять на нейронних мережах АРТ / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, А.Ю. Романов // Проблемы информатики и моделирования: 7-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2007. – С. 18.

Здобувачем розроблена архітектура й алгоритми навчання та роботи аналого-дискретної ДАП, яка побудована на основі нейронних мереж АРТ.

20. Заковоротный А.Ю. Система поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // 4-а наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба: тези доп. – Харків, 2008. – С. 171.

Здобувач розробив архітектуру СППРМ дизель-поїзда ДЕЛ-02.

21. Заковоротный А.Ю. Система поддержки принятия решений машинистом / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Проблемы информатики и моделирования: 8-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2008. – С. 5.

Здобувачем розроблений принципи роботи СППРМ дизель-поїзда ДЕЛ-02.

22. Заковоротный О.Ю. Управления тяговым асинхронным электроприводом методами дифференциальной геометрии / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVII міжнар. наук.-практ. конф., тези доп. – Харків, 2009.

– Ч.2. – С. 285.

Здобувач розробив та реалізував модель руху дизель-поїзда ДЕЛ-02.

23. Заковоротный А.Ю. Система поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Компьютерные науки и технологии: 1-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Белгород, 2009. – Ч.1. – С. 154–158.

Здобувачем розроблена архітектура та основні принципи роботи СППРМ дизель-поїзда ДЕЛ-02.

24. Заковоротный А.Ю. Синтез систем управления с помощью обратной связи в пространстве “вход-состояние” / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, А.П. Попенко // Проблемы информатики и моделирования: 9-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2009. – С. 79.

Здобувачем розв'язані дві задачі оптимального керування поїздом.

АНОТАЦІЇ

Заковоротный О. Ю. Система підтримки прийняття рішень для автоматизації процесу керування рухом дизель-поїзда. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010.

У дисертаційній роботі розроблена система підтримки прийняття рішень машинистом для автоматизації процесів керування рухом дизель-поїзда. Розроблені математичні моделі функціонування тягового асинхронного електропривода українського дизель-поїзда ДЕЛ-02. Уточнена за допомогою диференціальних рівнянь модель для тягових розрахунків. Отримана лінійна модель об'єкта керування в канонічній формі Бруновського, яка еквівалентна нелінійній моделі у просторі “вхід – стан”. Розроблена структура регулятора, який формує оптимальні керуючі дії. Вирішені задачі максимальної швидкодії та мінімізації лінійної комбінації часу й квадрату керування. Розроблена нова двонаправлена асоціативна пам'ять на базі мереж адаптивної резонансної теорії, яка реалізує базу знань системи підтримки прийняття рішень. Проведені експериментальні дослідження системи.

Ключові слова: автоматизація процесів керування, система підтримки прийняття рішень, тяговий асинхронний електропривод, модель об'єкта керування, двонаправлена асоціативна пам'ять.

Заковоротный А. Ю. Система поддержки принятия решений для автоматизации процесса управления движением дизель-поезда. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2010.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи – разработке системы поддержки принятия решений машинистом для автоматизации процесса управления движением дизель-поезда.

На основе проведенного анализа современных систем управления подвижным составом, обоснована актуальность разработки и совершенствования системы поддержки принятия решений машинистом, автоматизирующей процессы управления движением дизель-поезда.

Разработаны математические модели функционирования асинхронного привода в неподвижной прямоугольной и во вращающейся синхронной системе координат, позволяющие вести исследования процессов, протекающих в дизель-поезде в режимах разгона, тяги, выбега и торможения, соответственно по мгновенным и средним значениям.

Адаптирован к дизель-поезду ДЭЛ-02 метод тяговых расчетов и повышена его точность, по сравнению с упрощенными алгебраическими выражениями классического метода. Автоматизировано выполнение тяговых расчетов, что позволяет осуществлять как предварительный просчет основных параметров движения дизель-поезда, так и их перерасчет, в случае возникновения во время движения изменений погодных условий или дорожной ситуации.

Разработан метод и алгоритм динамической линеаризации математических моделей функционирования подвижного состава с тяговым асинхронным электроприводом на основании геометрической теории управления с помощью обратной связи в пространстве “вход – состояние”. Получена линейная математическая модель объекта управления в канонической форме Бруновского, эквивалентная нелинейной модели объекта.

С помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина решены задачи максимального быстродействия, и минимизации взвешенной линейной комбинации времени движения и расхода квадрата управления.

С помощью геометрической теории управления разработана структура регулятора, который на основе данных, поступающих от объекта управления, формирует оптимальные управляющие воздействия.

Разработана база знаний системы поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда, на основе двунаправленной ассоциативной памяти и непрерывных нейронных сетей адаптивной резонансной теории, что позволило осуществить компактное хранение информации, необходимой машинисту для оптимального ведения дизель-поезда по перегону.

Разработана бортовая компьютерная система поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда на основе специализированной базы знаний, тяговых расчетов и математической модели в форме Бруновского, которая в реальных условиях эксплуатации подвижного состава и текущего изменения дорожной обстановки выдает машинисту закон управления, при котором соблюдается график движения дизель-поезда при минимальном расходе топлива, и необходимую информацию для ведения подвижного состава по железнодорожному перегону.

Приведены результаты экспериментальных исследований системы поддержки принятия решений машинистом на математических моделях и реальном дизель-поезде ДЭЛ-02, которые подтвердили правильность предложенных теоретических решений.

Бортовая компьютерная система поддержки принятия решений, автоматизирующая процесс управления дизель-поездом, реализована в виде программного комплекса, который позволяет в реальных условиях эксплуатации подвижного состава осуществлять помощь машинисту в выборе оптимальных режимов ведения дизель-поезда. Созданная система использовалась на ГП завод “Электротяжмаш” и ООО Украинский научно-исследовательский институт силовой электроники “Преобразователь” при разработке системы управления дизель-поездом с тяговым асинхронным приводом.

Ключевые слова: автоматизация процессов управления, система поддержки принятия решений, тяговый асинхронный электропривод, модель объекта управления, двунаправленная ассоциативная память.

Zakovorotnyi O. Y. Support decision-making system for automation of process control traffic of diesel-train. – Manuscript.

The dissertation for a scientific degree of the candidate of engineering science on speciality 05.13.07 – automation of management processes. – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkov, 2010.

In dissertation work system support decision-making of machinist for automation of processes control traffic diesel-train are developed. The mathematical models of functioning hauling asynchronous drive of Ukrainian diesel-train DEL-02 are developed. A model is specified with differential equations for the hauling calculations. The linear model of management object is got in the canonical form Brunovsky, which is equivalent a nonlinear model in spacious “entrance – state”. The structure of regulator, which forms optimum managing influences, is developed. The tasks of maximal fast-acting, and minimizations linear combination of time and management square, are decided. A new neuron network – bidirectional annex storage created on the base networks of adaptive resonance theory, which will realize the knowledge’s base of the system support decision-making of machinist is developed. Experimental researches of the system are conducted.

Keywords: automation of processes control, system support decision-making, hauling asynchronous drive, model of management object, bidirectional annex storage.