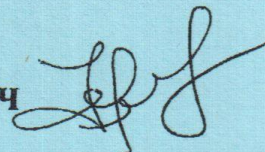


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

МЕЗЕНЦЕВ МИКОЛА ВІКТОРОВИЧ



УДК 681.5:681.518

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДОМ

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі обчислювальної техніки та програмування в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Запововський Микола Йосипович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кулік Анатолій Степанович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри систем управління літальними апаратами

кандидат технічних наук
Собольов Олександр Вікторович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
науковий співробітник відділу
технології вирощування монокристалів

Захист відбудеться « 12 » березня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «__» _____ 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Енергетичні витрати на перевезення вантажів і пасажирів залізничним транспортом, що виконує більшу частину перевезень у внутрішньому і міжнародному сполученні України, є основними при формуванні собівартості перевезень, тому перспективною є модернізація тягового рухомого складу на основі застосування сучасних методів оптимального керування, що дозволяють мінімізувати енерговитрати. Модернізація систем керування, які дозволяють у реальних умовах експлуатації рухомого складу й зміни поточної дорожньої обстановки забезпечувати такі закони керування, при яких дотримується графік руху при мінімальній витраті палива, є актуальним завданням.

Задача синтезу оптимальних регуляторів є досить перспективною, особливо для систем керування складними технічними об'єктами, до яких відноситься електропередача дизель-поїзда з тяговими асинхронними двигунами. Для проведення якісного й кількісного аналізу синтезованих регуляторів необхідно мати достовірну математичну модель об'єкта в цілому, а також її окремих компонентів. Тому розробка методів синтезу, адаптації й модифікації методів керування, які дозволяють отримувати вираш при оптимізації тягових, динамічних і енергетичних характеристик рухомого складу, створення раціональних математичних моделей на основі сучасних комп'ютерних технологій як для синтезу оптимальних систем керування, так і для проведення експериментальних досліджень є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрям дослідження дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування НТУ «ХПІ» відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт МОНмолодьспорту України: «Розробка теорії й методів штучного інтелекту для моделювання й оптимізації динамічних об'єктів» (ДР № 0104U003016), «Розвиток теоретичних основ нейронних мереж адаптивної резонансної теорії для оптимізації складних процесів» (ДР № 0107U000598), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є синтез оптимальних систем керування дизель-поїздом на основі методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи з урахуванням мінімізації витрат палива при експлуатації об'єкта керування в динамічних режимах.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- виконати аналіз сучасних систем автоматичного керування тяговим рухомих складом для вдосконалення системи управління дизель-поїздом з тяговим асинхронним приводом;
- модифікувати метод аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи (АКУР) для випадку нелінійного входження трьох керуючих впливів у систему рівнянь, що описують об'єкт;
- запропонувати раціональні чисельні методи для рішення завдань синтезу керувань за допомогою методу АКУР;
- здійснити синтез регуляторів для дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом за допомогою методу АКУР;
- розробити систему керування дизель-поїздом на основі методу АКУР та векторного керування асинхронним приводом;
- розробити узагальнені математичні моделі функціонування окремих компонентів, що входять у загальну структуру електромеханічної системи об'єкта керування, на основі яких створити уточнену модель системи автоматичного керування дизель-поїздом;
- провести експериментальні дослідження синтезованої системи на узагальненій математичній моделі роботи дизель-поїзда й реальному об'єкті.

Об'єкт дослідження – процеси керування об'єктами з декількома керуючими впливами, що входять нелінійно.

Предмет дослідження – оптимізація процесів керування дизель-поїздом з тяговим

асинхронним приводом на основі методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи.

Методи дослідження. При синтезі систем керування використовувалося аналітичне конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи; теорія електричних машин і математичне моделювання при дослідженні дизель-поїзда. Для уточнення структури регуляторів і створення уточненої математичної моделі використовувалися методи еволюційного моделювання, теорія нейронних мереж і нечіткої логіки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

вперше:

- розроблено метод синтезу регуляторів за критерієм узагальненої роботи для об'єктів, у математичній моделі функціонування яких керування входять у вигляді добутку трьох керувань або функцій від них, що дозволило в загальній постановці здійснити синтез регуляторів для тягового приводу дизель-поїзду;

- запропонована комбінована система керування рухом дизель-поїзда, яка включає в себе регулятор, синтезований за методом АКУР, що визначає необхідний момент для переміщення об'єкта керування з вихідної точки в кінцеву, а також підсистему векторного керування, що на основі обчислення величин, які не піддаються прямому виміру, дозволяє більш точно відпрацьовувати необхідний момент і, відповідно, економити паливо;

одержали подальший розвиток:

- метод АКУР синтезу оптимальних регуляторів щодо об'єктів, у математичній моделі функціонування яких нелінійно входять n керувань;

- математична модель електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02, що на відмінність від відомих моделей дозволяє досліджувати режими функціонування електропередачі з використанням ШІМ, векторного керування ТАД і здійснювати пошук оптимальних параметрів регуляторів;

- чисельний метод визначення коефіцієнтів у методі АКУР на основі використання генетичного алгоритму й виконання декомпозиції вихідної математичної моделі та синтезу регуляторів для кожної частини окремо, а також перетворення вихідної математичної моделі в іншу систему координат, що зменшило трудомісткість синтезу системи керування й спростило її;

- система векторного керування на основі використання методів нечіткої логіки, що дозволило зменшити величину перерегулювання системи керування і, як наслідок, одержати меншу витрату палива.

Практичне значення отриманих результатів для модернізації тягового складу на залізничному транспорті України:

- синтезовані регулятори, які забезпечують функціонування електропередачі дизель-поїзда з мінімізацією енергетичних витрат. При цьому зменшення величини енергетичних витрат у порівнянні з існуючими системами становить не менш 5%;

- реалізована на ПЕОМ узагальнена математична модель електропередачі дизель-поїзда з тяговими асинхронними двигунами й синтезованою системою керування, що оптимізує паливно-енергетичні витрати, а також дозволяє на стадії проектування регуляторів замінити експериментальні дослідження чисельним моделюванням.

Результати роботи використані:

- 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;

- у навчальному процесі НТУ «ХПІ» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування при викладанні навчальної дисциплін: «Системний аналіз і комп'ютерне моделювання» та «Бортові системи керування», а також у курсових і дипломних роботах студентів напрямку 6.050102 «Комп'ютерна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно, серед них: модифікація методу АКУР для об'єктів, математичні моделі яких описуються системами нелінійних диференціальних рівнянь з n керуваннями, що входять нелінійно; використання генетичного алгоритму для пошуку коефіцієнтів, що входять у вирази для визначення оптимальних керувань за методом АКУР; декомпозиція вихідної математичної моделі по часовому параметру; комбінована система керування, що включає регулятори, синтезовані за методом АКУР, а також підсистему векторного керування ТАД; узагальнена модель функціонування електропередачі дизель-поїзда.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2004, 2006 – 2012); 4 – 12 Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми інформатики та моделювання» (Харків, 2004 – 2012); 3-й Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційна техніка та електромеханіка» (Луганськ, 2005); 11-м міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка й молодь у ХХІ столітті» (Харків, 2007); 23 Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (Алушта, 2010); Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2011); Міжнародної молодіжної конференції «Прикладна математика, керування й інформатика» (Белгород, Росія, 2012).

Публікації: Основний зміст дисертації відображено у 23 наукових публікаціях, з них 12 – у фахових наукових виданнях України, 11 – у працях і матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків та списку літератури. Повний обсяг дисертації становить 202 сторінки; з них: 67 рисунків за текстом, 8 рисунків на 8 окремих сторінках, 1 таблиця на окремій сторінці, 2 додатки на 20 сторінках, списку використаних джерел з 126 найменувань на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** виконаний аналіз існуючих систем автоматичного керування рухомим складом, а також їхніх математичних моделей. Відзначено, що на сьогоднішній день найбільш актуальні завдання модернізації й розвитку даних систем спрямовані на оптимізацію процесів перевезення пасажирів і вантажів для економії як енергетичних витрат, так витрат, пов'язаних з експлуатацією об'єктів в цілому. Аналіз проблем оптимального керування рухомим складом показав, що найбільш перспективним для синтезу систем керування об'єктами, математичні моделі функціонування яких описуються системами нелінійних диференціальних рівнянь, є метод аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи. Метод АКУР дозволяє синтезувати регулятори, які оптимізують процеси керування не тільки при детермінованих, але й при випадкових впливах. Критерієм оптимальності в методі АКУР є функціонал, що враховує точність приведення об'єкту в задану точку фазового простору, вимоги до якості перехідних процесів, а також енергетичні витрати в процесі керування. Також проаналізовано застосування перспективних способів керування поїздами з тяговим асинхронним електроприводом, а саме векторного керування ТАД, що у порівнянні із традиційним частотним керуванням має ряд переваг.

У другому розділі виконана адаптація методу аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи для синтезу систем автоматичного керування об'єктами з декількома керуючими впливами, що входять нелінійно.

Для синтезу оптимальної системи керування методом АКУР необхідно, щоб математична модель об'єкту керування описувалася системою звичайних диференціальних рівнянь, у які керування входять лінійно. Це накладає обмеження на область застосування методу, оскільки існує широкий клас об'єктів, у математичні моделі яких керування входять нелінійно або під знаки деяких безперервних функцій. Відомі математичні перетворення, у результаті яких можливе одержання нової математичної моделі об'єкту, у яку керування будуть входити лінійно. Однак при цьому може зникати фізичний зміст керування, тому запропоновано модифікацію методу АКУР, що заснована на наступній теоремі:

Якщо об'єкт керування описується системою рівнянь

$$\frac{dx_i}{dt} + f_i(x_1, \dots, x_n, t) = 3 \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) \psi_{1ij}(u_{1ij}) \psi_{2ij}(u_{2ij}) \psi_{3ij}(u_{3ij}) + \sum_{k=1}^r \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

тоді оптимальними в смислі мінімуму функціоналу

$$I = M[V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2]] + M \left[\int_{t_1}^{t_2} Q(x_1, \dots, x_n, t) dt \right] + M \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{u_{1ij}^2}{k_{1ij}^2} + \frac{u_{2ij}^2}{k_{2ij}^2} + \frac{u_{3ij}^2}{k_{3ij}^2} \right) dt \right] \quad (2)$$

є керування

$$\begin{aligned} u_{1ij} &= -k_{1ij}^2 \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{1ij} \psi_{2ij} \psi_{3ij} / u_{1ij}; \\ u_{2ij} &= -k_{2ij}^2 \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{1ij} \psi_{2ij} \psi_{3ij} / u_{2ij}; \\ u_{3ij} &= -k_{3ij}^2 \frac{\partial V}{\partial x_i} \varphi_{ij} \psi_{1ij} \psi_{2ij} \psi_{3ij} / u_{3ij}, \end{aligned} \quad (3)$$

де V – рішення лінійного рівняння в часткових похідних

$$\frac{\partial V}{\partial t} - \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} f_i = -Q \quad (4)$$

за граничної умови

$$V[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2] = V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2]. \quad (5)$$

Тут x_i ($i = \overline{1, n}$) – фазові координати об'єкту керування; $f_i, \varphi_{ij}, \eta_{ik}$ ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, r}$) – безперервні функції, що описують об'єкт керування; $\xi_k(t)$ – білі шуми (послідовності статистично незалежних δ -імпульсів, випадкових по площі й розділених скільки завгодно малими, але кінцевими проміжками часу); M – символ математичного очікування; $V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2]$ і $Q(x_1, \dots, x_n, t)$ – додатні певні безперервні функції, що задають відповідно точність приведення об'єкту в момент часу t_2 у задану точку фазового простору й вимоги до якості перехідних процесів об'єкту по фазових координатах в

інтервалі часу керування $[t_1, t_2]$; $k_{1ij}, k_{2ij}, k_{3ij}$ ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$) – задані числа;
 $u_{1ij}, u_{2ij}, u_{3ij}$ ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$) – керування.

Якщо функції $f_i(x_1, \dots, x_n, t)$, $Q(x_1, \dots, x_n, t)$, $V_3[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2), t_2]$ можна представити у вигляді ступеневих рядів:

$$f_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_j + \sum_{j,k=1}^n \alpha_{ijk} x_j x_k + \sum_{j,k,l=1}^n \alpha_{ijkl} x_j x_k x_l + \dots; \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \frac{1}{3} \sum_{i,j,k=1}^n \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \frac{1}{4} \sum_{i,j,k,l=1}^n \beta_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots; \quad (7)$$

$$V_3 = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \rho_{ij} x_i x_j + \frac{1}{3} \sum_{i,j,k=1}^n \rho_{ijk} x_i x_j x_k + \frac{1}{4} \sum_{i,j,k,l=1}^n \rho_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots, \quad (8)$$

де $\alpha_i, \alpha_{ijk}, \alpha_{ijkl}, \dots$; $\beta_{ij}, \beta_{ijk}, \beta_{ijkl}, \dots$ – у загальному випадку функції часу, що не змінюються при перестановці індексів, починаючи із другого; $\rho_{ij}, \rho_{ijk}, \rho_{ijkl}, \dots$ – постійні величини, що не змінюються при перестановці індексів, то рішення крайової задачі (4), (5) буде мати вигляд

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n A_{ij} x_i x_j + \frac{1}{3} \sum_{i,j,k=1}^n A_{ijk} x_i x_j x_k + \frac{1}{4} \sum_{i,j,k,l=1}^n A_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots, \quad (9)$$

де A_{ij}, A_{ijk}, \dots – у загальному випадку функції часу, які визначаються із системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dA_{ij}}{dt} - \sum_{p=1}^n (\alpha_{pi} A_{pj} + \alpha_{pj} A_{pi}) &= -\beta_{ij}; \\ \frac{dA_{ijk}}{dt} - \sum_{p=1}^n (\alpha_{pi} A_{pjk} + \alpha_{pj} A_{pik} + \alpha_{pk} A_{pij}) &= -\beta_{ijk} + \sum_{p=1}^n (\alpha_{pi} A_{pjk} + \\ &+ \alpha_{pj} A_{pik} + \alpha_{pk} A_{pij}); \end{aligned} \quad (10)$$

З урахуванням співвідношення (9) вирази (3) мають вигляд:

$$\begin{aligned} u_{1ij} &= -k_{1ij}^2 \frac{\Phi_{ij} \Psi_{1ij} \Psi_{2ij} \Psi_{3ij}}{u_{1ij}} \left(\sum_{k=1}^n A_{jk} x_k + \sum_{k,l=1}^n A_{ikl} x_k x_l + \dots \right); \\ u_{2ij} &= -k_{2ij}^2 \frac{\Phi_{ij} \Psi_{1ij} \Psi_{2ij} \Psi_{3ij}}{u_{2ij}} \left(\sum_{k=1}^n A_{jk} x_k + \sum_{k,l=1}^n A_{ikl} x_k x_l + \dots \right); \\ u_{3ij} &= -k_{3ij}^2 \frac{\Phi_{ij} \Psi_{1ij} \Psi_{2ij} \Psi_{3ij}}{u_{3ij}} \left(\sum_{k=1}^n A_{jk} x_k + \sum_{k,l=1}^n A_{ikl} x_k x_l + \dots \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Ці співвідношення й визначають структуру регулятора, оптимального в смислі мінімуму функціонала (2).

Останнім часом в електроприводах з ТАД застосовуються схеми перетворювачів частоти, які використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Застосування такого перетворювача дозволяє одержати широкий діапазон керування швидкістю обертання ТАД, а також зменшити втрати від вищих гармонік напруги. Зокрема, на дизель-поїзді ДЕЛ-02 застосований такий перетворювач, який до швидкості 35 км/год використовує режим ШІМ. Застосування методу АКУР у класичному формулюванні для синтезу структури регулятора

електропривода з перетворювачем частоти в режимі ШІМ не можливо. Однак на підставі запропонованої модифікації методу АКУР, а саме її частковому випадку, коли права частина системи рівнянь (1) має вигляд

$$\sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(x_1, \dots, x_n, t) u_{1ij} u_{2ij} \Psi_{3ij}(u_{3ij}) + \sum_{k=1}^n \eta_{ik}(x_1, \dots, x_n, t) \xi_k(t),$$

такий синтез можна здійснити. При синтезі регуляторів за методом АКУР при рішенні диференціального рівняння в часткових похідних (4) виникає допоміжне завдання визначення множини коефіцієнтів $M_{\beta\rho} = \{\beta_{ij}, \beta_{ijk}, \dots, \rho_{ij}, \rho_{ijk}, \dots\}$ у співвідношеннях (7),

(8). Визначити кращий або навіть прийнятний набір коефіцієнтів при множині $M_{\beta\rho}$ є складною обчислювальною проблемою, тому метод АКУР передбачає багаторазовий розрахунок з різними наборами коефіцієнтів. Запропоновано кілька підходів, що дозволяють скоротити обчислювальні витрати при знаходженні оптимальних керувань за методом АКУР:

– представлення математичної моделі об'єкту у рухомій системі координат замість нерухомої системи;

– виконання декомпозицію вихідної математичної моделі функціонування об'єкту на декілька підмоделей по часовому параметру.

У третьому розділі на основі запропонованих модифікацій методу АКУР здійснений синтез регуляторів для дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом.

На дизель-поїзді ДЕЛ-02 у тяговому електроприводі застосовується перетворювач частоти, який при розгоні складу до швидкості 35 км/год працює з використанням ШІМ. По досягненню дизель-поїздом швидкості 35 км/год перетворювач частоти перемикається в режим амплітудно-частотного управління. Таким чином, синтез оптимальних регуляторів для даного об'єкту на етапі розгону доцільно проводити для швидкостей до 35 км/год і для швидкостей більше 35 км/год.

До швидкості 35 км/год рух дизель-поїзда в режимі тяги описується системою диференціальних рівнянь виду:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} + a_{12}x_2 &= 0; & \frac{dx_2}{dt} + a_{245}x_4x_5 + a_{236}x_3x_6 + a_{22}x_2 + a_{20} &= 0; \\ \frac{dx_3}{dt} + a_{33}x_3 + a_{35}x_5 &= u_1u_2\cos(u_3t); & \frac{dx_4}{dt} + a_{44}x_4 + a_{46}x_6 &= u_1u_2\sin(u_3t); \\ \frac{dx_5}{dt} + a_{55}x_5 + a_{53}x_3 + x_2x_6 &= 0; & \frac{dx_6}{dt} + a_{66}x_6 + a_{64}x_4 + x_2x_5 &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

де x_1 – шлях, пройдений дизель-поїздом; t – час; $a_{12}, a_{245}, a_{236}, \dots, a_{64}$ – постійні параметри й коефіцієнти для даного типу тягового асинхронного електропривода; x_2 – кутова швидкість обертання ротора ТАД; x_3, x_5, x_4, x_6 – відповідно проекції на осі α і β потокозчеплень обмоток статора й ротора; u_1, u_2, u_3 – керування.

Рішення завдання оптимального керування в режимі розгону й тяги можна одержати, використовуючи наступні функції Q і V_k :

$$Q = \beta_0 + \beta_1(a_{44}x_4 + a_{46}x_6)^2 + \beta_2(x_{20} - x_2)^2(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)^2; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} V_3 = \rho_1(a_{33}x_3 + a_{35}x_5) + \rho_2(a_{44}x_4 + a_{46}x_6) + \rho_3(x_{20} - x_2)(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)^2 + \\ + \rho_4(a_{44}x_4 + a_{46}x_6)^2 + \rho_5(x_{20} - x_2)^2(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)^2, \end{aligned} \quad (14)$$

де $x_{20} = \Omega_2$ – задана кутова швидкість, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_5$ – постійні коефіцієнти. Рішення рівняння в часткових похідних шукається у вигляді:

$$V = A_1(a_{33}x_3 + a_{35}x_5) + A_2(a_{44}x_4 + a_{46}x_6) + A_3(x_{20} - x_2)(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)^2 + \\ + A_4(a_{44}x_4 + a_{46}x_6)^2 + A_5(x_{20} - x_2)^2(a_{33}x_3 + a_{35}x_5)^2. \quad (15)$$

Підставляючи співвідношення (13), (15) у рівняння (4), одержана система звичайних диференціальних рівнянь, для визначення коефіцієнтів A_i ($i = \overline{1, 5}$), вирішивши яку з урахуванням граничних умов (14) і підставивши коефіцієнти у вирази (11) визначено в явному виді керування:

$$u_1 = -k_1^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_2 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_2 \sin(u_3 t) \right] = -k_1^2 u_2 F; \quad (16)$$

$$u_2 = -k_2^2 \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 \sin(u_3 t) \right] = -k_2^2 u_1 F; \quad (17)$$

$$u_3 = -\frac{k_3^2}{u_3} \left[\frac{\partial V}{\partial x_3} u_1 u_2 \cos(u_3 t) + \frac{\partial V}{\partial x_4} u_1 u_2 \sin(u_3 t) \right] = -\frac{k_3^2}{u_3} u_1 u_2 F, \quad (18)$$

де

$$F = F(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, u_3) = (A_1 a_{33} + \\ + 2A_3 a_{33} (x_{20} - x_2)(a_{33} x_3 + a_{35} x_5) + 2A_5 a_{33} (x_{20} - x_2)^2 (a_{33} x_3 + a_{35} x_5)) \cos(u_3 t) + \\ + (a_{44} A_2 + 2a_{44} A_4 (a_{44} x_4 + a_{46} x_6)) \sin(u_3 t).$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів $k = (k_1, k_2, k_3)$; $\beta = (\beta_1, \beta_2)$; $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_5)$ у виразах (13), (14), (16) – (18) запропонований генетичний алгоритм. В якості хромосоми виступали вказані коефіцієнти, кожний з яких кодувався 16 бітами, як дійсне число з певного діапазону. Критерієм якості (приспосованістю хромосоми) при пошуку виступали витрата енергії, особливості перехідних процесів по заданій фазовій координаті (швидкості руху) і точність приведення об'єкту за заданий інтервал часу в кінцеву точку.

Після швидкості 35 км/год синтез регулятора виконувався по тій же методиці. Однак при цьому використано застосування підходу скорочення обчислювальних витрат на синтез регуляторів за методом АКУР, а саме – представлена математична модель функціонування еквівалентного двигуна в обертовій системі в ортогональних осях X, Y (має набагато меншу трудомісткість рішення), а також використана декомпозиція вихідної математичної моделі об'єкту керування на дві підмоделі: перша підмодель описує рух дизель-поїзда й має достатньо велику постійну часу (десятки секунд), а друга описує процеси в асинхронних двигунах з набагато меншими постійними часу (десяті й соті частки секунди). При цьому в даному випадку завдання оптимального керування формулюється таким чином: для першої підмоделі необхідно знайти тяговий момент, що забезпечував би переміщення об'єкту керування з вихідної точки в кінцеву за заданий інтервал часу, а для другої підмоделі – знайти такі керуючі впливи на еквівалентний тяговий асинхронний електродвигун, які б забезпечували момент для першої підмоделі. Для кожної з підмоделей виконаний синтез регуляторів.

Запропонована комбінована система керування рухом дизель-поїзда, що на верхньому рівні містить у собі регулятор, синтезований за методом АКУР, що визначає необхідний момент для переміщення об'єкта керування з вихідної точки в кінцеву, а на нижньому рівні – підсистему векторного керування, що на основі обчислення величин, які не піддаються прямому виміру, дозволяє більш точно відпрацьовувати необхідний момент і відповідно

заощаджувати паливо.

У четвертому розділі виконане уточнення існуючої фізичної моделі електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02 у плані додавання можливості проведення досліджень для деяких режимів роботи дизель-поїзда, зокрема в режимі розгону, коли перетворювач частоти працює з використанням ШІМ (до швидкості 35 км/ч) і досліджень, пов'язаних з векторним керуванням ТАД. Виконане дослідження синтезованих методом АКУР регуляторів на уточненій математичній моделі електропередачі дизель-поїзда, а також розроблена система векторного керування з використанням методів нечіткої логіки.

Для існуючої моделі функціонування електропередачі запропоновано замість окремих моделей блоків синхронного генератора й випрямляча використовувати модель, що реалізує спільну роботу цих блоків. Для побудови моделі обрана багатошарова нейронна мережа прямої передачі сигналів, навчання якої здійснювалося на основі навантажувальних характеристик синхронного генератора. Застосування даного підходу дозволило підвищити точність моделювання блоків СГ-В.

У системі керування збудженням генератора запропоновано замість трьох регуляторів, реалізованих у вигляді традиційних ПІД-регуляторів, використовувати один нейромережевий контролер. При цьому застосування такого контролера дозволило одержати кращі показники якості, такі як величина перерегулювання, число перерегулювання й час перехідного процесу системи керування збудженням, що в остаточному підсумку привело до збільшення точності відпрацьовування генератором необхідної напруги завдання.

Для перевірки адекватності розробленої моделі використовувалися дані, отримані за допомогою інформаційно-керуючої та контролюючої системи. Так на рис. 1 (а) наведені процеси зміни значення току $I_{d\text{мод.}}$ еквівалентного ТАД, отриманого на уточненій моделі, та значення току $I_{d\text{реальн.}}$ (при роботі однієї головки дизель-поїзду) реального об'єкту, а на рис. 1 (б) наведені процеси зміни швидкості дизель-поїзда ($V_{\text{мод.}}$ та $V_{\text{реальн.}}$).

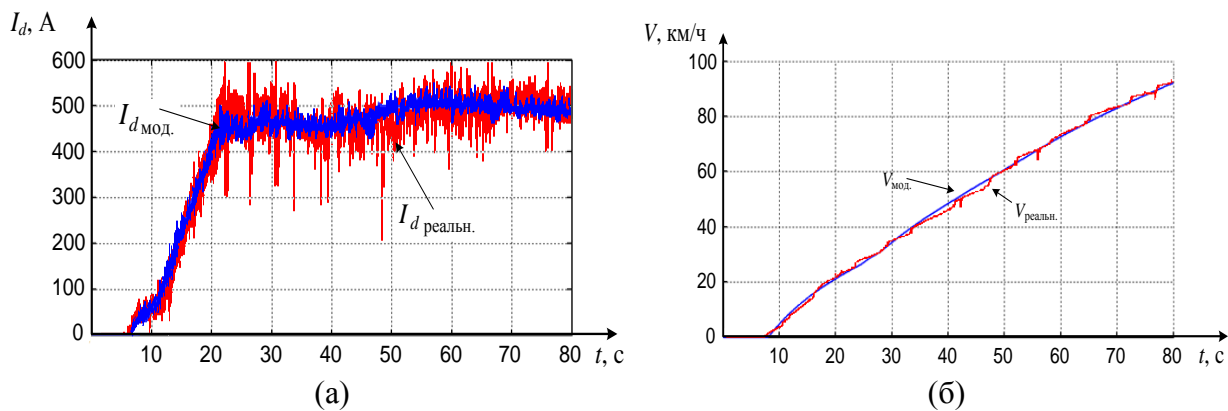


Рис. 1. Порівняння процесів при розгоні дизель-поїзду, отриманих за допомогою уточненої моделі та на реальному об'єкті

Класична система векторного керування тяговим асинхронним приводом здійснюється за принципом сталості швидкості обертання ТАД. Однак, процес руху складається як з ділянок сталості швидкості руху, так і з ділянок розгону й гальмування. При цьому залишається відкритим питання значення поточного моменту ротора, що у класичній схемі підтримується постійним. Запропоновано векторну модель роботи ТАД, що дозволяє здійснити дослідження, пов'язані з вибором закону зміни модуля поточного моменту при завданні певної вимоги до якості функціонування об'єкта керування. Вибір певних закономірностей до зміни модуля поточного моменту здійснено шляхом рішення загального завдання Лагранжа при певних допущеннях і обмеженнях. Таким чином були отримані синтезовані в явному виді закони керування.

У даній моделі розглядався оптимізаційний показник – витрата палива при переміщенні об'єкта керування з вихідної точки в кінцеву за заданий час. При цьому витрата палива Q у процесі розгону визначається залежно від споживаної потужності дизель-поїзда й величини питомої видаткової характеристики дизеля G_e

$$Q = \int_0^T G_e U_{1m} I_d dt,$$

де G_e – питома видаткова характеристика дизеля; U_{1m} – амплітудне значення напруги живлення ТАД (В); I_d – струм навантаження (А).

Для випадку використання постійного значення потокозчеплення при досягненні напруги живлення граничного значення (відповідно до певної позиції контролера машиніста) спостерігається й установа заданої швидкості, тобто подальший розгін не можливий. Показано, що змінюючи величину потокозчеплення можна домогтися більшої кінцевої швидкості на кожній з позицій контролера машиніста, за умови застосування відповідного закону зміни потокозчеплення ротора й застосування векторного керування ТАД.

При побудові систем векторного керування асинхронними електроприводами в основному застосовуються системи, розраховані на використання стандартних П-, ПІ-, ПІД-регуляторів. Точне настроювання таких регуляторів на задану якість системи керування є складним в силу нелінійності об'єкту керування. Тому запропоновано використовувати замість стандартних регуляторів регулятор, побудований за методом нечіткої логіки. На рис. 2. наведено структурну схему векторного керування тяговим двигуном електропривода дизель-поїзда з використанням нечіткого контролера по кутовій швидкості двигуна. Тут: ω_p^3 – сигнал завдання швидкості обертання ротора тягового асинхронного двигуна; БОПП – блок обчислення помилки і її похідній; БІ – блок інтегрування; GE^{-1} , GC^{-1} , GU – блоки множення (ділення) на масштабні коефіцієнти; НК – нечіткий контролер; ПНЗ – блок переходу до нечітких значень; БП – база правил для нечіткого контролера; БЗП – блок застосування правил; БД – база даних; ПЧЗ – блок переходу до чітких значень; БВК – блок векторного керування; ТАД – тяговий асинхронний двигун. Сигнали помилки й похідної помилки перетворюються блоками GE^{-1} і GC^{-1} у відповідні сигнали у відносних одиницях e і ce шляхом ділення на масштабні коефіцієнти. Аналогічно, вихідний керуючий сигнал u (для системи з векторним керуванням відповідає струму завдання i_{qs}^{3d}) обчислюється шляхом множення вихідного сигналу у відносних одиницях du на масштабний коефіцієнт GU , з наступним його інтегруванням блоком БІ для одержання u .

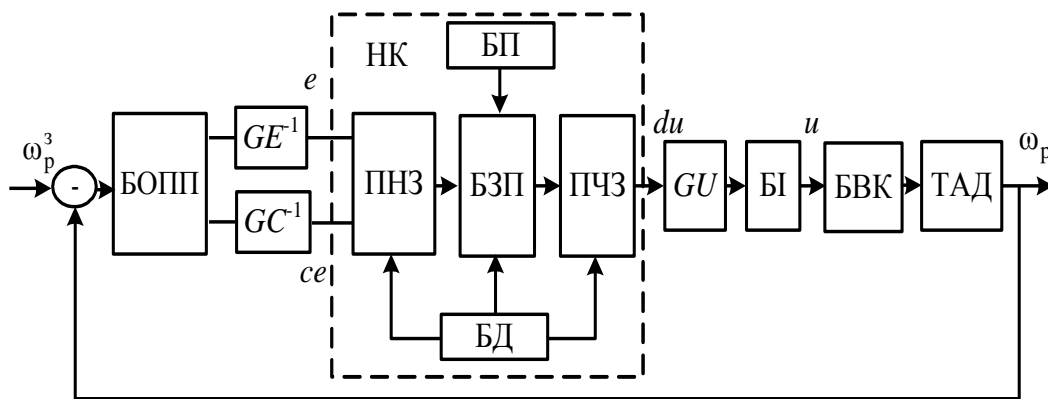


Рис. 2. Структура нечіткого контролера в системі векторного керування ТАД

Проведені дослідження синтезованої системи векторного керування тяговим електроприводом підтвердили ефективність застосування методів нечіткої логіки при проектуванні регуляторів. При цьому отримане поліпшення якості системи керування по основних її параметрах у середньому на 10%.

У додатках наведені: текст програми генетичного алгоритму, що реалізує пошук множини коефіцієнтів $M_{k\beta\rho} = \{k, \beta, \rho\}$, які входять до співвідношень для знаходження керувань, отриманих за методом АКУР; документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу оптимізації процесів керування вітчизняним дизель-поїздом з тяговим асинхронним приводом на основі синтезу регуляторів методом аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи. Отримано наступні основні результати:

1. На основі проведеного аналізу сучасних систем автоматичного керування (САК) тяговим рухомих складом та існуючих математичних моделей функціонування САК виявлені недоліки САК дизель-поїзда. Встановлено, що найбільш прийнятним методом для побудови оптимальної системи керування дизель-поїздом є метод аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи. Однак для його успішного застосування необхідна наявність нелінійних математичних моделей енергетичної системи з урахуванням обмежень, що накладаються на припустимі діапазони зміни змінних стану й керувань, а також адаптація даного методу для об'єктів, у математичні моделі яких керування входять нелінійно.

2. Запропоновано модифікацію методу синтезу оптимальних регуляторів за критерієм узагальненої роботи для випадку нелінійного входження трьох або в загальному випадку n керувань у вигляді їх добутку, або добутку керувань і функцій від керувань, або добутку функцій від керувань, що розширило область застосування методу АКУР та дозволило здійснити синтез регуляторів для дизель-поїзда з тяговим асинхронним приводом.

3. Оскільки для визначення параметрів регулятора необхідно виконувати надмірні обчислювальні витрати, то запропоновано кілька загальних раціональних чисельних методів рішень завдань керування за допомогою методу АКУР:

- використання математичних моделей у обертовій системі координат дозволило зменшити обсяг обчислень у порівнянні з математичними моделями у нерухомій системі координат на два – три порядки;

- виконання декомпозиції вихідної математичної моделі об'єкту на декілька підмоделей, що дозволяє скоротити число коефіцієнтів, які входять у співвідношення для визначення керувань, а отже, і зменшити трудомісткість синтезу системи керування;

- використання генетичного алгоритму для пошуку параметрів регуляторів, що скоротило час пошуку прийнятних параметрів в десятки разів.

4. На основі аналітичного конструювання синтезовані оптимальні регулятори для дизель-поїзда з урахуванням специфіки роботи перетворювача частоти. Застосування синтезованих регуляторів в структурі реальної системи керування дизель-поїздом дозволило отримати економію палива в середньому на рівні 5%.

5. Розроблена комбінована дворівнева система керування рухом дизель-поїзда:

- верхній рівень – регулятор, синтезований за методом АКУР, який визначає необхідний момент для переміщення об'єкту керування з вихідної точки в кінцеву;

- нижній рівень – підсистема векторного керування, в якій замість стандартного ПІ-регулятора швидкості запропоновано використовувати нечіткий контролер.

Така система дозволяє зменшити величину перерегулювання швидкості дизель-поїзда та більш точно відпрацювати необхідний момент і відповідно економити паливо.

6. Створена узагальнена математична модель процесів електропередачі дизель-поїзда ДЕЛ-02, яка на відмінність від відомих моделей дозволяє досліджувати режими функціонування електропередачі з використанням ШІМ, векторного керування ТАД і здійснювати пошук оптимальних параметрів регуляторів, а саме:

– запропоновано замість моделювання блоків синхронного генератора (СГ) і випрямляча (В) використовувати математичну модель, що описує спільну роботу цих блоків. Для цього використані навантажувальні характеристики блоку СГ-В, які реалізовані у вигляді нейронної мережі для підвищення точності моделювання цих блоків;

– розроблена математична модель роботи блоку автономного інвертора напруги перетворювача частоти, який реалізує для керування амплітудою напруги живлення ТАД широтно-імпульсну модуляцію, що дозволило проводити дослідження з урахуванням специфіки об'єкта, що розглядається, і як наслідок одержати адекватні процеси в електропередачі при дослідженні об'єкта керування до швидкостей 35 км/год та вище.

7. Проведені експериментальні дослідження синтезованих регуляторів за методом АКУР як на рівні математичного моделювання так і на реальному об'єкті підтвердили достовірність запропонованих рішень по оптимізації процесів керування рухом дизель-поїзда.

8. Синтезовані регулятори впроваджені на ДП завод «Електроважмаш» (м. Харків), ВАТ Український науково-дослідний інститут силової електроніки «Перетворювач» (м. Запоріжжя). Результати роботи використані у навчальному процесі на кафедрі обчислювальної техніки та програмування НТУ «ХПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мезенцев Н.В. 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». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 34. – С. 144 – 152.

Здобувач запропонував використання нейронних мереж для моделювання компонентів САР.

2. Мезенцев Н.В. Исследование динамики дизель-поезда с системой управления на основе АКОР и нейронных сетей / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 46. – С. 20 – 25.

Здобувач запропонував використання нейронного контролера для системи керування дизель-поїзда.

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

Здобувач розробив нову модифікацію методу АКУР для нелінійного входження двох керувань під знаки безперервних функцій.

4. Мезенцев Н.В. Оптимизация функционала обобщенной работы при нелинейно входящих управлениях / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. – 2005. – № 1 (10). – С. 17 – 22.

Здобувач виконав синтез регулятора за допомогою модифікації методу АКУР.

5. Мезенцев Н.В. Синтез системы векторного управления тяговым асинхронным электроприводом локомотива / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 56. – С. 151 – 156.

Здобувач запропонував використання векторного керування в структурі системи керування дизель-поїзду.

6. Мезенцев Н.В. Разработка и исследование системы управления электроприводом

переменного тока с использованием методов нечеткой логики / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев, Н.В. Горбач // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 23. – С. 53 – 60.

Здобувачем запропоновано використання нечіткого контролера в структурі векторного керування тяговим приводом.

7. Мезенцев Н.В. Исследование работоспособности нечеткого регулятора электропривода переменного тока при различных функциях принадлежности / Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 19. – С. 89 – 93.

Здобувачем виконано дослідження функцій приналежності для нечіткого контролера.

8. Мезенцев Н.В. Новые модификации метода АКОР для случая нелинейного вхождения управлений / Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 39. – С. 119 – 124.

9. Мезенцев Н.В. 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». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 13. – С. 53 – 60.

Здобувачем запропоновано нові модифікації методу АКУР при наявності випадкових збурень.

10. Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда методом аналитического конструирования по критерию обобщенной работы / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 31. – С. 87 – 94.

Здобувач виконав синтез регуляторів для дизель-поїзда у випадку амплітудно-частотного керування асинхронним приводом.

11. Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с системой векторного управления тяговим асинхронным приводом / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Системи обробки інформації.– Харків: ХУПС. – 2011. – Вип. 4(94). – С. 12–15.

Здобувач запропонував комбіновану систему керування.

12. Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с учетом работы преобразователя частоты в режиме ШИМ / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 38. – С. 46 – 54.

Здобувачем виконано синтез регуляторів методом АКУР для випадку роботи перетворювача частоти в режимі ШИМ.

13. Мезенцев Н.В. Моделирование блока "синхронный генератор-выпрямитель" с использованием нейронных сетей / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XII міжнар. наук.-практ. конф., тези доп. – Харків, 2004. – С. 730.

Здобувач запропонував модель блока СГ-В.

14. Мезенцев Н.В. Применение методов нечеткой логики для векторного управления асинхронным электроприводом переменного тока / Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 11-й міжнародний молодіжний форум, тези доп. – Харків, 2007. – Ч.2. – С. 156.

Здобувач запропонував нечіткий контролер в структурі векторного керування ТАД.

15. Мезенцев Н.В. Синтез регуляторов методом АКОР для случая нелинейно входящих управлений и случайных возмущающих воздействий / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Проблемы информатики и моделирования: 9-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков, 2009. – С. 24.

Здобувач вирішив задачу синтезу регуляторів методом АКУР при наявності випадкових

збурень.

16. Мезенцев Н.В. Использование методов нечеткой логики при проектировании регуляторов электропривода переменного тока / Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVIII міжнар. наук.-практ. конф., тези доп. – Харків, 2010. – С. 12.

Здобувач запропонував систему керування з використанням методів АКУР та нечіткої логіки.

17. Мезенцев Н.В. Аналитическое конструирование регуляторов для дизель-поезда с асинхронным тяговым приводом / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Проблемы информатики и моделирования: 10-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков-Ялта, 2010. – С. 13.

Здобувач запропонував використання декомпозиції математичної моделі за часовою ознакою.

18. Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов методом АКОР для дизель-поезда с системой векторного управления тяговым электроприводом / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XIX міжнар. наук.-практ. конф., тези доп. – Харків, 2011. – С. 21.

Здобувачем запропоновано комбіновану систему керування.

19. Мезенцев Н.В. Синтез регуляторов методом АКОР для дизель-поезда с применением векторного управления ТАД / Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Системний аналіз та інформаційні технології: міжнар. наук.-техн. конф., тези доп. – Київ, 2011. – С. 92.

Здобувач виконав синтез регуляторів для комбінованої системи керування.

20. Мезенцев Н.В. Синтез оптимальных регуляторов для дизель-поезда с применением векторного управления тяговым асинхронным электроприводом / Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Проблемы информатики и моделирования: 11-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков-Ялта, 2011. – С. 29.

Здобувачем виконано синтез регуляторів методом АКУР для випадку векторного керування асинхронним приводом.

21. Мезенцев Н.В. Обобщенная модель электропередачи дизель-поезда с тяговым асинхронным электроприводом / Н.И. Заполовский, В.И. Носков, Н.В. Мезенцев // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XX міжнар. наук.-практ. конф., тези доп. – Харків, 2012. – С. 18.

Здобувачем реалізована математична модель електропередачі у вигляді машинної моделі.

22. Мезенцев Н.В. Синтез регуляторов методом АКОР и их исследование на обобщенной модели электропередачи дизель-поезда / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, Н.В. Мезенцев // Проблемы информатики и моделирования: 12-я междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Харьков-Ялта, 2012. – С. 33.

Здобувач виконав дослідження синтезованих регуляторів на моделі електропередачі дизель-потяга.

23. Мезенцев Н.В. Аналитическое конструирование регуляторов по критерию обобщенной работы для динамических объектов / В.Д. Дмитриенко, Н.В. Мезенцев // Прикладная математика, управление и информатика: сб. материалов лекций междунар. молодеж. конф. – Белгород, 2012. – С. 14 – 29.

Здобувач запропонував модифікації методу АКУР для синтезу регуляторів для різних динамічних об'єктів.

АНОТАЦІЇ

Мезенцев М.В. Оптимізація процесів керування дизель-поїздом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.13.03 – системи та процеси керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2013.

У дисертаційній роботі виконана оптимізація процесів керування дизель-поїздом методом аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи (АКУР). Розроблено метод аналітичного конструювання регуляторів за критерієм узагальненої роботи для об'єктів, в математичні моделі яких керуючі впливи входять у вигляді добутку трьох та більше (n) керувань або функцій від них. Запропоновано декілька загальних раціональних чисельних методів рішення задач керування за допомогою методу АКУР. Запропонована комбінована система рухом дизель-поїзда, що включає в себе регулятор, синтезований за методом АКУР та підсистему векторного керування тяговим асинхронним приводом. Здійснено синтез регуляторів за методом АКУР, враховуючи специфіку роботи перетворювача частоти на об'єкті дослідження. Запропоновано використовувати регулятор, побудований на методах нечіткої логіки, в системі векторного керування. Проведені експериментальні дослідження системи.

Ключові слова: оптимізація процесів керування, аналітичне конструювання регуляторів, критерій узагальненої роботи, векторне керування, нечітка логіка.

Мезенцев Н.В. Оптимизация процессов управления дизель-поездом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2013.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи – оптимизации процессов управления отечественным дизель-поездом с тяговым асинхронным приводом на основе синтеза регуляторов методом аналитического конструирования по критерию обобщенной работы (АКОР).

На основе проведенного анализа существующих систем автоматического управления тяговым подвижным составом, а также их математических моделей, показано, что на сегодняшний день наиболее актуальными задачами модернизации и развития системы автоматического управления дизель-поездом являются задачи, направленные на оптимизацию процессов перевозки пассажиров и грузов с целью экономии энергетических затрат.

Разработан метод аналитического конструирования регуляторов по критерию обобщенной работы для объектов, в математические модели которых управляющие воздействия входят в виде произведения трех управлений или функций от них. Метод АКОР обобщен для случая нелинейного вхождения в виде произведения n управляющих воздействий или функций от них в математические модели, описывающие объект управления.

Предложено несколько общих рациональных численных методов решений задач управления с помощью метода АКОР, а именно:

- использовать для синтеза законов управления математические модели с наименьшей трудоемкостью интегрирования системы дифференциальных уравнений, описывающей объект управления;

- выполнять декомпозицию исходной математической модели на несколько подмоделей, что позволяет сократить число определяемых коэффициентов, входящих в выражения для определения управлений, а следовательно, и уменьшить трудоемкость синтеза системы управления;

- использовать генетический алгоритм для поиска параметров синтезированных регуляторов.

Разработана комбинированная система управления движением дизель-поезда, которая

на верхнем уровне включает в себя регулятор, синтезированный по методу АКОР, определяющий требуемый момент для перевода объекта управления из исходной точки в конечную, а на нижнем уровне – подсистему векторного управления, которая на основе вычисления величин, не поддающихся прямому измерению, позволяет более точно отрабатывать требуемый момент и соответственно экономить топливо.

Осуществлен синтез регуляторов по методу АКОР с учетом специфики работы преобразователя частоты на исследуемом объекте, а именно с учетом алгоритма широтно-импульсной модуляции (до скорости 35 км/ч) и амплитудно-частотного алгоритма (после скорости 35 км/ч).

Для системы векторного управления предложено использовать вместо постоянной величины потокосцепления ротора, величину изменяющуюся во времени. Осуществлен синтез закона управления по потокосцеплению ротора.

Предложено в системе векторного управления использовать регулятор, построенный на основе методов нечеткой логики, который позволяет повысить качество системы управления по основным ее параметрам.

Синтезированные регуляторы по методу АКОР использовались на ГП завод «Электротяжмаш» и ОАО Украинский научно-исследовательский институт силовой электроники «Преобразователь» при разработке системы управления дизель-поездом с тяговым асинхронным приводом. Результаты работы использованы в учебном процессе на кафедре вычислительной техники и программирования НТУ «ХПИ».

Ключевые слова: оптимизация процессов управления, аналитическое конструирование регуляторов, критерий обобщенной работы, векторное управление, нечеткая логика.

Mezentsev N.V. Optimization of control processes for diesel train. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences: Specialty 05.13.03 – Systems and Control Processes. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkov, 2013.

Optimization of control processes for diesel train by analytical design of regulators according the generalized work criterion (ADGW) is performed in the thesis. There are the mathematical models of objects where controls enter as a product of three or more (n) controls or functions of them. The method of analytical design of regulators according the generalized work criterion for these objects is developed. A few general rational numerical methods for control problems solving by the method ADGW are offered. The hybrid system of diesel train movement, which includes the regulator that is synthesized by the ADGW method and subsystem of vector control of asynchronous traction drive, is proposed. The synthesis of regulators by method ADGW is implemented. The specifics of the frequency converter operation at object research is considered. Use of the regulator, built on the methods of fuzzy logic in the vector control is suggested. Experimental researches of the system are performed.

Keywords: optimization of control processes, analytical design of regulators, generalized work criterion, vector control, fuzzy logic.

Підписано до друку 05.02.2013 р. Формат 60х90/16.
Папір офсетний. Друк – ризографія.
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення № 085256

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