

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**



БРИКСІН ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 65.011.56

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ
ПОЇЗДА НА ОСНОВІ АДАПТИВНОЇ КОРЕКЦІЇ ШВИДКОСТІ**

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 2016

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Порошин Сергій Михайлович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри мультимедійних
інформаційних технологій і систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Каргін Анатолій Олексійович,
Донецький національний університет,
завідувач кафедри комп'ютерних технологій

кандидат технічних наук,
Соболев Олександр Вікторович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
науковий співробітник лабораторії систем управління
відділу технології вирощування монокристалів

Захист відбудеться «07» квітня 2016р. 14.30 години на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 (електрокорпус, 1-й поверх, ауд. 54-Б).

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

Автореферат розісланий « 04 » березня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток автоматизованих систем керування і їх вдосконалення сприяє підвищенню безпеки руху та ефективності перевезень, що насамперед покращує економічні показники залізниць. Застосування швидкісних поїздів дозволяє підвищити швидкість руху, за рахунок покращення умов проходження поїздом окремих ділянок дороги в складних умовах та нечітких ситуаціях, зменшує затрати часу на сполучення, роблячи залізницю більш привабливою в порівнянні з іншими видами транспорту. Проте, значне підвищення швидкості потребує впровадження системи автоведення поїзда, яка б автоматично підтримувала заданий графік руху, а не тільки виконувала обмеження по швидкості враховуючи реальний стан на перегонах. Перспективність застосування систем автоведення доведена успішним використанням швидкісних та високошвидкісних поїздів в багатьох високорозвинених країнах. В цих поїздах впроваджені системи автоматизованого керування, для зменшення впливу людського фактора на процес перевезення, при збільшенні швидкості руху поїзда. В Україні також займаються розробками таких систем, але до серійного впровадження не дійшло. Тому доцільним є створення автоматизованих систем керування засобами залізничного транспорту на підставі нових технологій і методів адаптації шляхом визначення необхідної швидкості поїзда на різних ділянках маршруту перевезень та її підтримання в складних умовах (нечіткі ситуації, випадкові збурення й перешкоди, які істотно впливають на сигнали контуру керування швидкістю руху поїзда).

Таким чином, науково-технічна задача розроблення моделі автоматизованого керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції швидкості, є актуальною та визначає напрям дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту згідно науково-дослідних робіт “Розробка й дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотива” (ДП №0100U000821), “Дослідження перспективного гібридного тягового привода на базі синхронних машин з постійними магнітами” (ДП №0107U000343) і держбюджетної теми УкрДАЗТ “Розробка методології побудови перспективної системи керування швидкістю поїздів “ (Б/Т23/2 від 1.04.2010 р.), у якій здобувач брав участь як виконавець.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є забезпечення необхідних характеристик процесу керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції його швидкості.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- провести аналіз існуючих засобів і методів керування швидкістю руху поїзда для отримання необхідних характеристик процесу їх функціонування;
- розробити математичну модель графіка руху в системі керування швидкістю поїзда для розв'язання завдання автоведення з мінімізацією похибки швидкості щодо заданого графіка руху;
- розробити модель нечіткої корекції швидкості руху для створення автоматизованої системи керування поїздом;

– розробити комп'ютерну модель адаптивного регулятора корекції швидкості руху поїзда для зниження впливу перешкод від напівпровідникових перетворювачів в процесі його функціонування, яка враховує високий порядок характеристичного рівняння замкнутого контуру керування;

– провести техніко-економічне обґрунтування від застосування розробленого адаптивного регулятора в порівнянні з відомим, яке дозволить оцінити ефективність його роботи.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого керування швидкістю руху поїзда.

Предмет досліджень – моделі та методи автоматизованого керування швидкістю поїзда.

Методи досліджень. Розв'язання поставлених завдань виконано на підставі системного підходу. Для формування графіка руху використано метод продукційного нечіткого логічного висновку. Для моделі нечіткої корекції швидкості руху застосовано нові розширення нечітких функціональних переходів і використано математичний апарат нечітких мереж Петрі. Методи теорії систем керування, фільтрації, оптимального керування й адаптації використані для побудови перешкодостійких контурів керування швидкістю поїзда.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше розроблено математичну модель графіка руху для автоматизованої системи керування швидкістю поїзда на основі сплайн інтерполяції, що відрізняється адаптивним урахуванням використовуваної кількості термів, це дозволяє забезпечити необхідну точність виконання заданого графіка на високих швидкостях;

– удосконалено математичну модель керування швидкістю на основі нечітких мереж Петрі, яка відрізняється від відомих, врахуванням заданої кількості термів відповідно необхідної точності виконання, що дозволило здійснити корекцію поточної швидкості в процесі руху поїзда;

– отримав подальший розвиток метод синтезу контуру керування поїздом з ПІ-регулятором і адаптивним фільтром, що відрізняється від відомих використанням критерію гарантованої ступеня стійкості і враховує третій порядок характеристичного рівняння і запізнювання об'єкта в замкнутому контурі керування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

— Результати дисертаційної роботи застосовувалися при синтезі системи та дозволили моделювати процеси керування засобами залізничного транспорту на підставі критерію гарантованого ступеня стійкості (КГСС), що забезпечило побудову автоматизованих систем керування, застосовуючи моделі більш високого порядку (акт упровадження ДП завод "Електроважмаш" (ЕВМ)).

— Розроблені процедури моделювання процесів керування швидкістю поїзда дозволяють побудувати АРМ диспетчерського персоналу для дослідження процедур керування швидкістю поїзда (акт упровадження ДП завод ЕВМ).

— Запропонована процедура налаштування контурів керування швидкістю поїзда на підставі нового КГСС, враховує інформацію про поточні параметри передавальної функції адаптивного фільтра. Вона впроваджена ДП завод "Електроважмаш" для розроблення систем керування маневровим тепловозом ТЕМ103, при цьому зросла перешкодозахищеність контурів керування й скоротилася тривалість пе-

рехідних процесів, за рахунок чого зменшені витрати енергоресурсів на 9% (акт упровадження ДП завод ЕВМ).

— Впроваджені в навчальний процес кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем УкрДАЗТу прикладні програми, що реалізують моделі адаптивних фільтрів, диференціаторів і регуляторів на ПЕОМ, а також моделі адаптивного керування для підготовки магістрів, слухачів курсів підвищення кваліфікації керівного складу та фахівців залізничного транспорту України. Методику й результати досліджень використано в лабораторних роботах з дисципліни "Теорія автоматичного керування й штучного інтелекту (акт упровадження УкрДАЗТ).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Серед них: розробка математичної моделі графіка руху для автоматизованої системи керування швидкістю поїзда на основі сплайн інтерполяції, що відрізняється адаптивним урахуванням використовуваної кількості термів; удосконалено математичну модель керування швидкістю на основі нечітких мереж Петрі, яка відрізняється від відомих, врахуванням заданої кількості термів відповідно необхідної точності виконання, що дозволило здійснити корекцію поточної швидкості в процесі руху поїзда; проведено синтез контуру керування поїздом на основі ПІ- регулятора і адаптивного фільтра з використанням критерію гарантованої ступеня стійкості, що враховує третій порядок характеристичного рівняння і запізнювання об'єкта в замкнутому контурі керування

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися, обговорювалися й були схвалені на: 22 – 25-ій Міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективні комп'ютерні керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту» (м. Алушта, вересень 2009–2012 рр.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми информатики и моделирования" (м. Ялта, вересень 2013 р.).

Публікації. За темою дослідження опубліковано 17 робіт, серед них 10 – у фахових наукових виданнях України (2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 6 – у матеріалах конференцій, 1 авторське свідоцтво.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Основний текст роботи складає 148 сторінок, робота містить 66 рисунків за текстом і 4 таблиці, 207 найменувань використаних джерел на 20 сторінках, 3 додатки на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовано мету й основні завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, дана характеристика новизни й практичних значень отриманих результатів, відомості про апробацію й публікацію основних наукових положень, винесених на захист.

У першому розділі проведено аналіз існуючих систем керування залізничним транспортом (СКЗТ).

Досліджено структури ієрархічної СКЗТ, визначені завдання оптимізації перехідних процесів і енергозбереження, стан теорії й методів побудови систем керування швидкістю руху поїзда, що дозволило виділити багатоконтурність та ієрархічність

цих структур, нечіткі значення параметрів, які характеризують процеси регулювання в контурах керування (КК). До таких параметрів належать помилки процесів регулювання, властивості поїзда – істотна нелінійність (наявність блоків множення, обернено пропорційні залежності струму від напруги за підтримання заданої потужності енергоустановки й ін.) і селективність характеристик (вибір \min -тах значень характеристик) регульованих величин; наявність інтенсивних перешкод прямокутної форми, які виникають від напівпровідникових перетворювачів.

Удосконаленню СКЗТ присвячено роботи Є.П. Блохіна, В. І. Бобровського, О.І. Баленко, М.І. Данько, І.В. Жуковицького, В.А. Лазаряна, В.Я. Негрея, Г.І. Нечаєва, С.В. Панченка, Б.Т. Ситніка, Ю.М. Цветова, Є.М. Шафіта та інші.

Значний внесок у створення загальної теорії адаптивних систем зробили такі вчені, як В.А. Бесекерський, Н. Вінер, С.В. Ємельянов, Г.І. Загарій, А.О. Каргін, В.М. Кунцевич, А.А. Красовський, П.Д. Крутько, М. Месарович, В.В. Солодовников, В.Н. Фомін, Я.З. Ципкін, В.О. Якубович, М. Ashby, Т. Chang, R. Kalman, A. Kusiak, H. Kwakernaak, T. Mamdani, K. Ostrem, C. Petri, W. Saridis, D. Spuner, Y. Takahara, L. Zade та інші.

Застосування КК електроприводом локомотива в умовах нестабільності параметрів поїзда в умовах підвищення швидкості поїзда вимагає використання метода адаптації для автоматизованого ведення графіка руху й забезпечення безпеки перевезень. Моделі оптимізації параметрів настроювання пристроїв фільтрації й керування на підставі відносин оцінювання сигналів і перешкод, а також технологічні моделі автопідстроювання в реальному часі пристроїв фільтрації й керування описані розрізнено. В більшості праць об'єкт керування розглядають як електропривод локомотиву, а не поїзд в цілому. Дослідження систем автоматизованого керування де якість процедур автопідстроювання параметрів пристроїв фільтрації, керування й ступінь оптимальності параметрів настроювання КК поїзда на підставі оцінювання відносин корисного сигналу до перешкоди не надавалася. Тому, урахувавши це, відома формальна модель графіка руху подається у вигляді цільової функції з урахуванням параметра маси поїзда

$$\int_0^{S_i} [f_s(x_i) - f_p(x_i)] dx_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де x_i - формальні параметри (змінні) за виконання обмежень:

$$\int_0^{S_i} E(x_i) dx_i \leq E_{npun}, \text{ при } i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де f_s – функція, що описує параметри заданого графіка руху поїзда з урахуванням маси; f_p – функція, що описує параметри реалізованого графіка руху поїзда; $E(x_i)$ – енергетичні витрати поїзда на i -й ділянці графіка руху, а

$$x_i = \begin{cases} V_i(B_i, S_i) \text{ при } i \in H \text{ и } x_{i npun} = V_{npun}; \\ V_{Hi} + a_i(B_i, S_i) \cdot t_i \text{ при } i \in A \text{ и } x_{i npun} = a_{npun} \cdot t_{npun} \end{cases};$$

де H – множина ділянок, на яких процес керування здійснюється з підтримання швидкості руху $V_i(B_i, S_i)$; A – множина ділянок, на яких процес керування здійснюється з підтримання прискорення $a_i(B_i, S_i)$, $V_i(B_i, S_i)$ – швидкість поїзда на i -й ділянці графіка руху; $a_i(B_i, S_i)$ – прискорення поїзда на i -й ділянці графіка руху; V_{Hi} – початкова швидкість поїзда на i -й ділянці графіка руху; t_i – час перебування поїзда на i -й ділянці графіка руху; $a_{\text{прип}}$ – припустиме прискорення поїзда на i -й ділянці графіка руху; $V_{i \text{ прип}}$ – припустима швидкість поїзда на i -й ділянці графіка руху; $t_{i \text{ прип}}$ – припустимий час перебування поїзда на i -й ділянці графіка руху; i – номер ділянки графіка руху; B_i – характеристика рельєфу на i -й ділянці графіка руху; S_i – довжина i -го ділянки графіка руху m – число ділянок у графіку руху поїзда. Розглядаємо ділянки ті, де прискорюємося або підтримуємо задану швидкість та вибіг.

Аналіз основних чинників, що впливають на необхідні характеристики процесу автоматизованого керування рухом поїзда, дозволив визначити та застосувати моделі та методи для реалізації системи автоведення, щодо оперативного керування заданою швидкістю.

У другому розділі сформовано математичну модель заданого графіка руху поїзда, яку можна реалізувати в автоматизованій системі керування поїздом (дозволяє перейти від фізичних показників до машинних).

Одною з основних вимог до систем керування рухом є забезпечення виводу поїзда на задану швидкість за мінімальний час у разі дотримання обмежень, передбачених графіком руху, конструктивними й експлуатаційними вимогами. Розв'язання цього завдання полягає в розробці системи керування (СК) рухом поїзда відповідно заданого графіка руху, який спускається з верхнього ієрархічного рівня, а виконується підлеглої СК, яка вже на нижньому ієрархічному рівні (враховуючи структуру Укрзалізниці).

На автоматизовану систему керування поїздом покладають функції підтримання заданого графіка, що проілюстровано кривою. Криву заданого графіка змінення швидкості поїзда під час руху на певній ділянці шляху наведено на рис. 1.

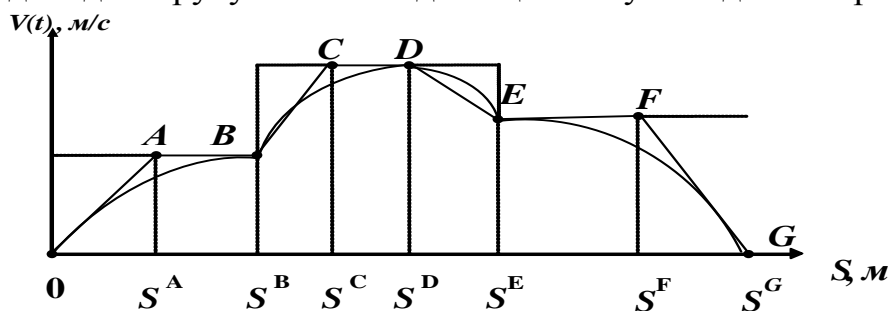


Рисунок 1 – Графік зміни швидкості в процесі руху

У процесі руху поїзда відповідно кривій заданого графіка можна виділити обмеження швидкості й довжини ділянок обмеження (0 – B, B – E, E – G). Рух з постійною швидкістю під час проїзду буде на ділянках (A – B, C – D, E – F), рух із прискоренням – на ділянках (0 – A і B – C), а з уповільненням – на ділянках (D – E, F – G). При цьому в процесі руху повинен бути дотриманий графік руху, що передбачає прибуття поїзда в кінцевий пункт у призначений час за максимально припустимих

значень швидкості руху, прискорення й уповільнення, тобто повинна здійснюватися вимога перевести об'єкт керування з початкового стану в кінцевий за необхідний час. Ці обмеження швидкості на певній ділянці шляху визначаються, наприклад, за критерієм комфортності пасажирів та інших умов. Усе це відображається в заданому графіку руху, що спускається з середнього рівня. Графік руху можна розбити на окремі сплайни, у вигляді парабол

$$Ax^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0,$$

які перетворені у вигляді:

$$y_i = kx_i^2, i = 1, k. \quad (3)$$

Моделі ділянок кривої графіка руху подаються у вигляді відрізків прямих ліній, що проходять через точки з координатами x_1, y_1 і x_2, y_2 , розташованих на параболі (ідеться про апроксимацію кривої другого порядку відрізками прямих, що проходять через дві точки з координатами кривої із заданою максимальною похибкою). Запишемо рівняння прямої, що проходить через дві точки з координатами x_1, y_1 і x_2, y_2 ,

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1},$$

та співвідношення для $y_1 = kx_1^2$, а $y_2 = kx_2^2$. вирахуємо остаточно залежність

$$y = k[(x_1 + x_2)x - x_1x_2].$$

Похибка апроксимації Δ визначається як різниця

$$\Delta = y - y_c = k[(x_1 + x_2)x - x_1x_2 - x^2]$$

Максимум похибки Δ_{\max} визначається за умови

$$\frac{d\Delta}{dx} = k[x_1 + x_2 - 2x] = 0,$$

звідки $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$, та

$$\Delta_{\max} = k \left[\frac{(x_1 + x_2)^2}{2} - x_1x_2 - \frac{(x_1 + x_2)^2}{4} \right], \text{ де } x_2 = x_1 \pm 2\sqrt{\frac{\Delta_{\max}}{k}}.$$

То кількість ділянок n апроксимації й число термів m нечітких змінних x, y на ділянці кривої від x_{\min} до x_{\max} отримаємо з виразів:

$$n \geq \frac{x_{\max} - x_{\min}}{x_{i+1} - x_i} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2\sqrt{\frac{\Delta_{\max}}{k}}}, m = n + 1.$$

Залежність числа потрібних ділянок апроксимації n і числа термів m нечітких змінних x, y для $k=1, x_{\max}=1, x_{\min}=0$ від заданої похибки апроксимації Δ_{\max} наведено в табл. 1.

Таблиця 1– Залежність кількості ділянок n апроксимації й числа термів m від заданої похибки реалізації кривої графіка руху

Δ_{\max}	$0,5^2$	$0,25^2$	$0,15^2$	$0,125^2$	$0,1^2$	$0,05^2$	$0,025^2$
n	1	2	3	4	5	10	20
m	2	3	4	5	6	11	21

Відрізок графіка руху представлено кривою 1 й відповідно (3) наведено на рис. 2. Якщо координати модальних значень термів вхідної змінної – x (Tx_0, Tx_1, Tx_2, Tx_3) і вихідної змінної – y (Ty_0, Ty_1, Ty_2, Ty_3) розташовані нерівномірно на осях XU , то модельна (апроксимувальна) крива 2 становить собою прямі лінії, тому що вузлові точки кривої перебувають на точках перетинання координат їх модальних значень. Це призводить до незначної похибки нечіткої моделі 2, тому застосовуємо нерівномірне розташування.

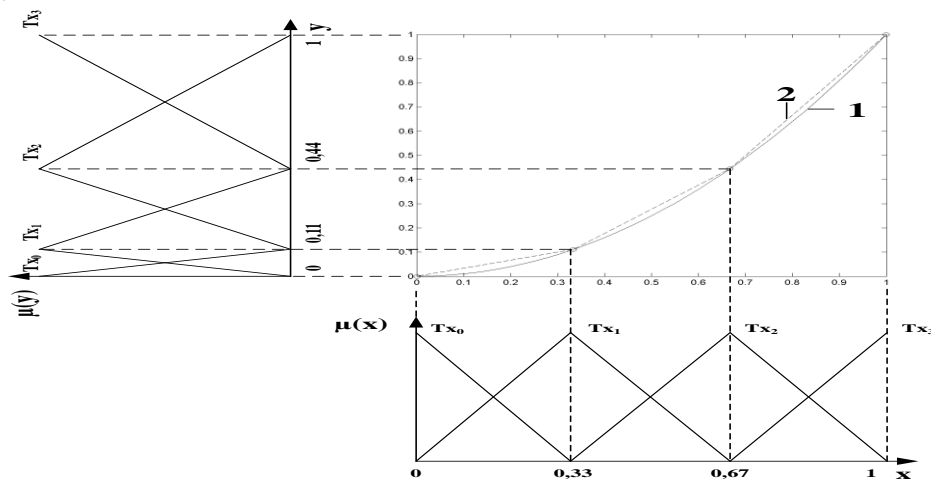


Рисунок 2 – Значення термів вхідної – x (Tx_0, Tx_1, Tx_2, Tx_3) та вихідної – y (Ty_0, Ty_1, Ty_2, Ty_3), модальні значення яких розташовані нерівномірно на осях координат XU

Основою системи автоматизованого ведення графіка руху є підтримання заданої швидкості поїзда, і виконання цих умов буде сприяти вдосконалюванню експлуатації засобів рейкового транспорту.

Традиційна модель контуру керування нижнього рівня представлена у вигляді передавальної функції 2-го порядку враховує тільки динаміку тягового електроприводу з параметрами, які не змінюються, що призводить до затягування перехідних процесів або до втрати стійкості за змінення характеристик об'єкта та при появі збурень і перешкод

$$W_{PO}(S) = \frac{K_0}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}. \quad (4)$$

За рахунок введення ланки зі змінними параметрами, котра змінюється не тільки в часі, а й за довжиною поїзда (τ – транспортне запізнювання) передавальна функція набуває вигляду

$$W_{PO}(p) = \frac{K_0 \exp(-\tau p)}{p(T_1 p + 1)(T_\phi p + 1)}, \quad (5)$$

де K_0 – коефіцієнт передачі об'єкта, T_1 – стала часу об'єкта, T_ϕ – стала часу фільтра.

Аперіодична ланка з адаптацією постійної часу T_ϕ використовується для заглушення перешкод і враховується для адаптації налаштувань регулятора.

Розроблено математичну модель графіка руху за допомогою, якої вводиться даний графік в систему керування швидкістю поїзда на основі сплайн інтерполяції з урахуванням використовуваної кількості термів, що дозволило забезпечити необхідну точність виконання заданого графіка.

У третьому розділі обґрунтовано метод моделювання нечіткої корекції швидкості руху поїзда для створення моделі автоматизованої системи керування (обчислення й завдання необхідних параметрів руху поїзда) з використанням функціональних квазі-двонаправлених динамічних нечітких мереж Петрі (МП). Проаналізовані наступні відомі прості функціональні переходи мереж Петрі, які входять у структури основних підкласів нечітких часових МП (НЧМП) необхідні для реалізації правил нечітких продукцій і виконання на їхній підставі нечітких висновків і переходів, що реалізує правило нечіткої продукції у вигляді висловлювання “ПРАВИЛО: ЯКЩО A – ТО B ”, що подається як деякий перехід $V_j = \{PN, f, \lambda, M_0\}$. З умови A цьому правилу відповідає вхідна позиція $P_i \in P$ цього переходу, а висновку B – вихідна позиція $P_k \in P$ цього переходу.

Коефіцієнти f_j перетворюються на вектор $f = \{f_1, f_2, \dots, f_j\}$ нечіткого спрацьовування переходів, а ступеням істинності підумов правил відповідають компоненти початкового маркування $M_0 = \{m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0\}$, які описують поточну ситуацію моделювання.

У структуру відомих НМП запропоновано розширення для функціональних квазідвонаправлених складних переходів:

— ФАЗИФІКАЦІЯ $F_{азр}$ вхідних змінних, котра здійснює агрегування – знаходження ступенів істинності для всіх вхідних термів;

— імплікаційний перехід – ВІДНОШЕННЯ $R_{j,i}(X_{ji} \times Y_{ji})$ між нечіткими змінними X_{ji} і Y_{ji} , тобто i значень j термів змінної X_{ji} у фазифіковані значення відповідних термів відповідних лінгвістичних або нечітких змінних Y_{ji} , які реалізують висловлювання ЯКЩО – ТО. З умови ЯКЩО цьому правилу відповідає множина вхідних позицій $P_{j,i}(X_{ji})$ цього переходу, а висновку ТО – множина вихідних позицій $P_{j,i+1}(Y_{ji})$;

— переходи, які реалізують операції:

— КОМПОЗИЦІЮ $F_{комп}$ НЕЧІТКИХ МНОЖИН A і ВІДНОШЕНЬ R_i , тобто $F_{комп} = (A \circ R_i)$;

— КОМПОЗИЦІЮ R_{ij} ВІДНОШЕНЬ R_i і ВІДНОШЕНЬ R_j , тобто ВІДНОШЕНЬ $R_{ij} = (R_i \circ R_j)$ або max-min – згортання;

— ДЕФАЗИФІКАЦІЮ вихідних змінних, що здійснює активізацію $F_{акт}$ підвисновків – знаходження ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій (НП) на етапі логічного розв'язування, й акумуляції $F_{ак}$ висновків правил НП, тобто знаходження сумарної функції приналежності для всіх лінгвістичних змінних множини правил НП на етапі формування керуючого впливу.

Приклад фазифікації чіткого значення змінної X_j у фазифіковані значення i -тих термів X_{ji} відповідних j -тих лінгвістичних або нечітких змінних наведено на рис. 3.

Приклад реалізації нового функціонального переходу – нечітке ВІДНОШЕННЯ R між змінними x і y , тобто перетворення значень i -тих термів j -тої змінної X_{ji} у відповідні фазификовані значення термів Y_{ji} , наведено на рис. 4. Приклад реалізації нових функціональних переходів для дефазифікації вихідних змінних на етапі активізації й реалізації відповідних обчислень за формулами (6) і (7) наведено на рис. 5.

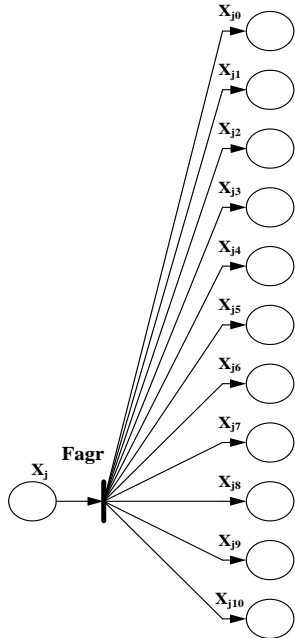


Рисунок 3 -
Приклад реалізації
нового нечіткого
переходу
ФАЗИФІКАЦІЇ

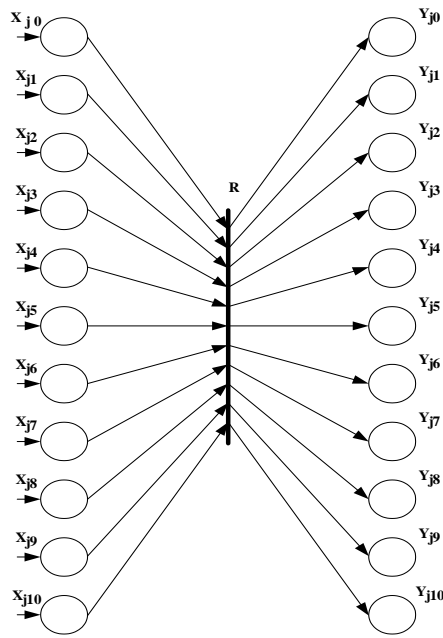


Рисунок 4 - Приклад
реалізації нового
функціонального переходу
НЕЧІТКЕ ВІДНОШЕННЯ
 R

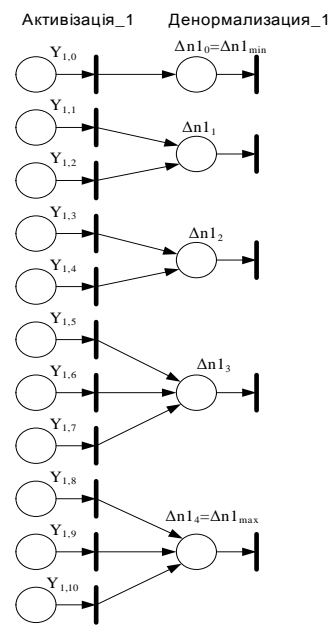


Рисунок 5 - Приклад
реалізації нових
функціональних переходів
для дефазифікації вихідних
змінних

Усі системи з нечіткою логікою функціонують за однією процедурою: показання вимірювальних приладів фазифікуються (переводяться в нечіткий формат), обробляються на підставі таблиць лінгвістичних правил системи продукційного нечіткого висновку, дефазифікуються й у вигляді вихідних сигналів подаються на виконавчі пристрої. Наведено приклад коректування заданої поточної швидкості руху поїзда з використанням нових розширень нечітких переходів та відповідну структурну схему моделі нечіткої корекції швидкості (рис. 6).

Якщо X_1 – різниця між поточною й заданою швидкістю, а X_2 – прискорення поїзда, що рухається швидше, ніж треба, а значення прискорення близьке до нуля, то керуючим впливом Δn_1 на поїзд буде зменшення X_1 за рахунок збільшення прискорення X_2 у негативний бік (керуючий вплив Δn_2). Якщо в деякій ситуації прискорення буде не нульовим, а негативним, то додаткових керуючих впливів у цей момент часу робити не треба. Якщо знаки $sign x_j$ для кожної j -ої змінної x_j однакові, то зміна Δn номерів позицій контролера машиніста (КМ) визначається композицією

$$\Delta n = -\{(|\Delta n_1| \circ |\Delta n_2|) sign x_1\}, \quad (6)$$

Переміщення КМ здійснюється в протилежний бік від знака добутку знаків вхідних змінних. Якщо знаки $sign x_j$ для кожної j -ої вхідної змінної різні, то зміна номерів позицій Δn КМ визначається алгебраїчною сумою, тобто переміщення КМ здійснюється в бік, протилежний максимальному відхиленню за формулою

$$\Delta n = -\{|\Delta n_1/\text{sign } x_1 + |\Delta n_2/\text{sign } x_2\}. \quad (7)$$

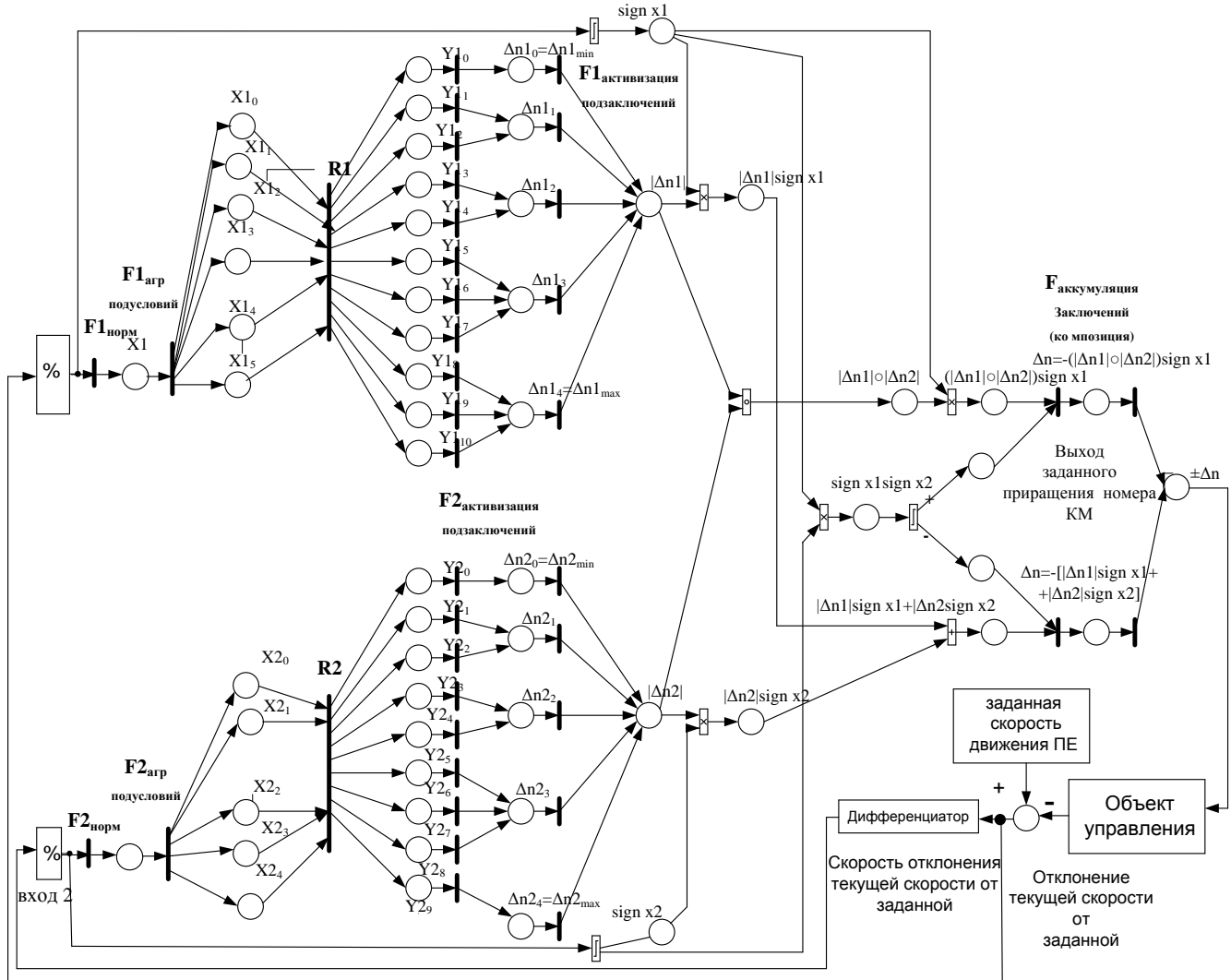


Рисунок 6 – Структурна схема системи адаптивної нечіткої корекції швидкості руху поїзда

Реалізацію процедури зміни номерів позицій Δn контролера машиніста для задання необхідної швидкості руху поїзда подано формулою у вигляді

$$\Delta n = -\{(\Delta n_1 \circ R \Delta n_2) \text{sign } X_1\}^\varphi \cdot \{\Delta n_1 \text{sign } X_1 + \Delta n_2 \text{sign } X_2\}, \quad (8)$$

де φ – код знака відхилення добутку вхідних змінних.

Проведено комп'ютерне моделювання нечіткого висновку значення вихідної нечіткої змінної «ШВИДКІСТЬ ПОЇЗДА» дискретного регулятора.

Даний підхід дозволяє розробити систему керування швидкістю на основі нечітких мереж Петрі, яка адаптує кількість правил враховуючи необхідну точність реалізації корекції поточної швидкості поїзда і тим самим зменшує використання машинного ресурсу.

У четвертому розділі досліджується адаптивне керування в дискретних системах високого порядку із запізнюванням. Проведено аналіз характеристик перешкод, що діють у СУЗТ, і обґрунтовано процедуру автоматичної ідентифікації дисперсій випадкових сигналів і перешкод. Відомо, що для знаходження міри відхилення ви-

хідної величини фільтра $y(t)$ від бажаної функції $y_0(t)$ обрано математичне очікування деякої опуклої функції $F(\xi)$ від різниці $y_0(t) - y(t)$, яка має вигляд наступного функціонала

$$J = M\{F(y_0(t)-y(t))\}.$$

Вибираємо критерій оптимальності, який ураховував би невимірну інформацію про корисний сигнал $s(t)$ і перешкоду $\xi(t)$, замість взаємно кореляційної функції квадрата вихідного сигналу та квадрата вхідного сигналу фільтра застосовуємо математичне очікування різниці модуля куба вихідного сигналу фільтру із математичним очікуванням квадрата сигналу помилки фільтрації

$$J(c) = M\left\{\left|\frac{1}{3}y^3(t)\right| - \lambda M\{e_\xi^2(t)\}\right\}, \quad (9)$$

де λ - сталий ваговий множник, $e_\xi(t)$ - помилка фільтрації.

Умову екстремуму отримаємо, диференціюючи (9) за ΔC_μ , а прирівнюючи частинні похідні до нуля, отримаємо:

$$\frac{\partial J(c)}{\partial \Delta c_\mu} = \frac{\partial J(c)}{\partial y(t)} \frac{\partial y(t)}{\partial \Delta c_\mu} = M[y^2(t) \frac{\partial y(t)}{\partial \Delta c_\mu} - 2\lambda \sigma_\xi^2 \Delta c_\mu] = 0, \mu = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Враховуючи

$$y(t) = \sum_{\mu=0}^N C_\mu e_\mu(t - \mu T_k),$$

маємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y(t)}{\partial \Delta c_\mu} &= e_\mu(t - \mu T_k), \mu = 0, 1, \dots, N.; \\ \Delta C_\mu &= \frac{1}{\lambda \sigma_\xi^2} M[y^2(t) e(t - \mu T_k)], \mu = 0, 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (11)$$

Вираз (11) указує те, що коефіцієнти C_μ пропорційні значенням взаємно-кореляційної функції квадрата (потужності) вихідного сигналу фільтра й сигналу помилки фільтрації

$$\Delta C_\mu = \frac{1}{\lambda \sigma_\xi^2} R_{y_e^2}(\mu T_k).$$

Для визначення дисперсій D_y і D_e використовують формули:

$$D_y = \sigma_y^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{n=0}^N y^2[nT_k] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N y^2[nT_k] = \sqrt{R}, \quad (12)$$

та

$$D_e = \sigma_e^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{n=0}^N e^2[nT_k] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N e^2[nT_k] = \sqrt{Q}, \quad (13)$$

де $y^2[nT_k]$ і $e^2[nT_k]$ – квадрати гратчастих функцій вихідного сигналу $y(t)$ і помилки $e(t)$ фільтрації, T_k – період вимірювання гратчастих функцій $y[nT_k]$ і $e[nT_k]$, $n=0,1,2,\dots,\infty$, \sqrt{R} и \sqrt{Q} – поточні значення оцінок рівнів спектральних щільностей корисного сигналу й перешкоди відповідно.

Автоматична ідентифікація статистичних параметрів випадкових сигналів і перешкод дозволяє враховувати їхнє змінення за оптимальних параметрів настроювання системи керування та для вибору періоду дискретизації.

Отримано співвідношення для розрахунку оптимальних значень сталої часу адаптивного фільтра

$$T_{opt} = \frac{T_\beta}{K_{ad} + \Delta}, \quad (14)$$

де $T_\beta = \frac{1}{\omega_\beta}$ – постійна часу адаптивного фільтра, що характеризує смугу пропускання ω_β фільтра для випадкового корисного сигналу; Δ – константа, що унеможливує поділ на нуль; K_{ad} – коефіцієнт адаптації, що характеризує оцінку поточного змінювання оптимального відношення рівнів корисного сигналу й перешкоди, відповідно до співвідношення

$$K_{ad} = \frac{D_{yx}}{D_{ef}} = \frac{y^2(t)}{e^2(t)} = \sqrt{\frac{R}{Q}}, \quad (15)$$

де D_{yx} – дисперсія вихідного сигналу y за корисного випадкового сигналу x , D_{ef} – дисперсія сигналу помилки e за перешкодою f , \hat{R} і \hat{Q} – оцінки рівнів спектральних щільностей корисного сигналу й перешкоди відповідно.

Розроблено метод безпосереднього синтезу цифрового ПІ-регулятора для систем 3-го порядку зі змінними параметрами й запізнюванням з наведеною безперервною частиною передавальної функції керування вигляду

$$W(p) = \frac{K_0 e^{-\tau p} (K_{II} p + K_I)}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (16)$$

де K_0 – статичний коефіцієнт передачі об'єкта; τ – час запізнювання об'єкта; T_1 – стала часу об'єкта; T_2 – стала часу адаптивного фільтра, K_{II} , K_I – параметри настройки регулятора.

КК відповідно до (11) містить динамічний об'єкт першого порядку із запізнюванням, адаптивний фільтр із оптимальною сталою часу $T_2 = T_{opt}$ і ПІ-регулятор.

Розглянуто лінеаризований варіант системи керування. Залежність величини КГСС I_Γ від параметрів, що змінюються в часі, об'єкта керування K_0 , T_1 і фільтра T_2 визначено в результаті аналізу $(m+1)$ -ої похідної характеристичного квазіполінома замкнутої системи регулювання m -го порядку.

$$I_\Gamma = \left[\frac{\tau^2 + 4b\tau + 6a}{2(\tau + b)} \right]^{-1} = \left[\frac{2(\tau + T_1 + T_2)}{\tau^2 + 4(T_1 + T_2)\tau + 6T_1 T_2} \right], \quad (17)$$

де $a=T_1T_2$ і $b=T_1+T_2$.

Після спрощення (17) отримано сумарну сталу часу T_{Σ} , яка дорівнює коефіцієнту при I . Величина, обернена T_{Σ} , визначає праву, найближчу до уявної півосі, межу коренів характеристичного квазіполінома й дорівнює $(T_{\Sigma})^{-1}=I_{\Gamma}$.

Отримано вирази для оптимального настроювання регулятора $K_{Понм}$ та $K_{Iонм}$:

$$K_{Iонм} = 1/T_{Iонм},$$

$$K_{Понм} = \frac{1}{K_o} e^{-\tau I_{\Gamma}} \left[T_1 T_2 I_{\Gamma}^3 - ((T_1 + T_2)\tau + 3T_1 T_2) I_{\Gamma}^2 + (\tau + 2(T_1 + T_2)) I_{\Gamma} - 1 \right],$$

$$K_{Iонм} = K_{Понм} I_{\Gamma} - \frac{1}{K_o} e^{-\tau I_{\Gamma}} \left[-T_1 T_2 I_{\Gamma}^3 + (T_1 + T_2) I_{\Gamma}^2 - I_{\Gamma} \right]$$

Моделювання системи третього порядку із запізнюванням з використанням адаптивного дискретного ПІ-регулятора, параметри настроювання якого оптимізовані за критерієм гарантованого ступеня стійкості, проведено відповідно до структурної схеми, яка наведена на рис. 7.

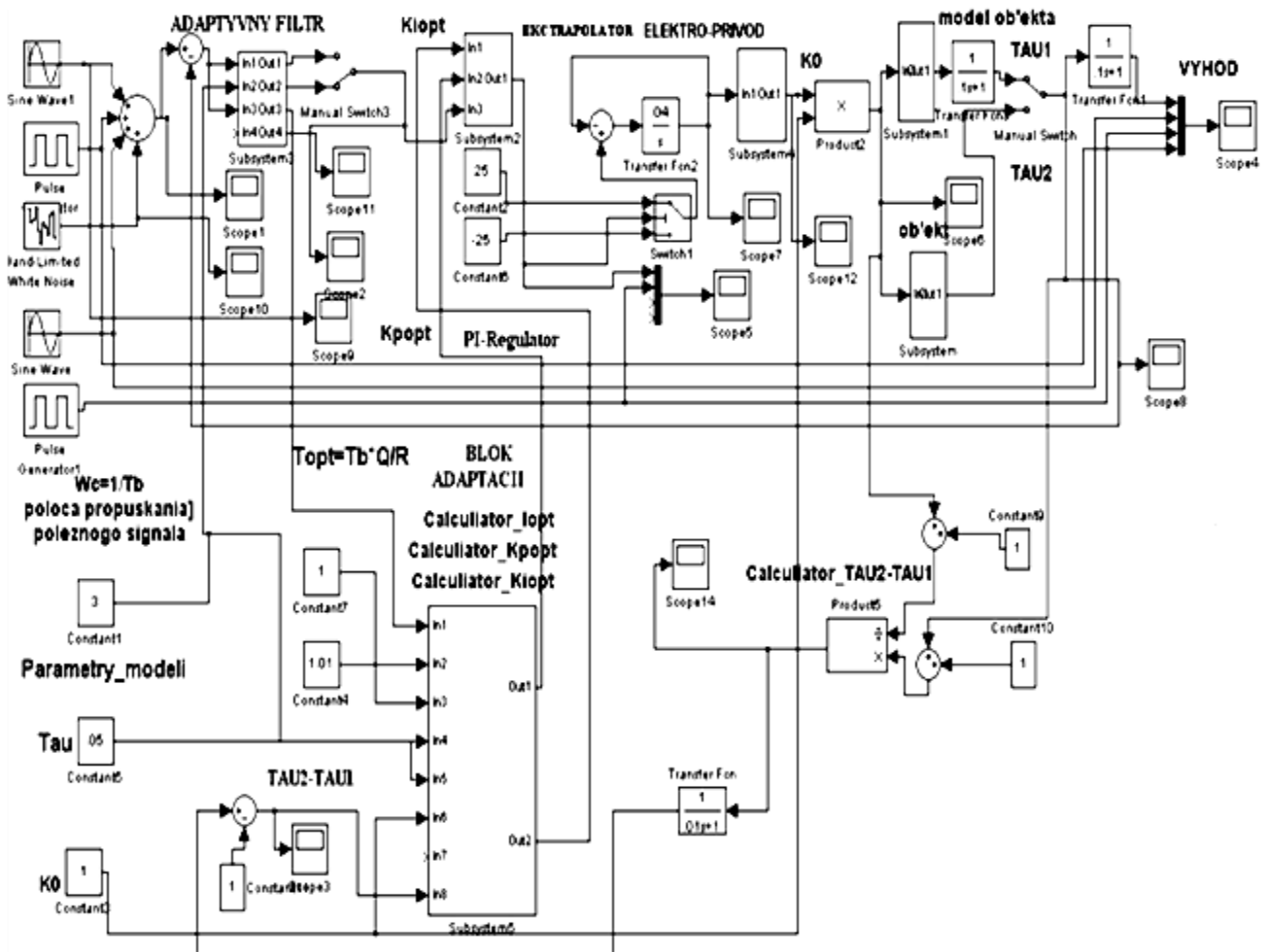


Рисунок 7 – Структурна схема системи з адаптивним дискретним ПІ-регулятором

Рисунок 8 ілюструє роботу контуру керування з адаптацією параметрів настроювання ПІ-регулятора до змінної сталої часу адаптивного фільтра $T_{онм}$ (9), що пока-

зує динамічний характер підстроювання параметрів регулятора залежно від змін сталої часу адаптивного фільтра.



Рисунок 8 – Сигнали в контурі керування з адаптацією: а) вхідний східчастий сигнал $1(t)$; б) вихідний сигнал контуру керування; в) $K_n(t)$; г) $K_u(t)$ $\xi(t)$ – параметри перешкоди $1\sin 100t$; $\omega_{comp}=50$ рад/с; $\tau=0.01$ с; $K_0=1$

Результати порівняння впливу на адаптивні системи керування перешкод за наступних параметрів $K_0=1$, $K_n=0,88$, $K_u=1,6$, відображено на рис. 9, 10.

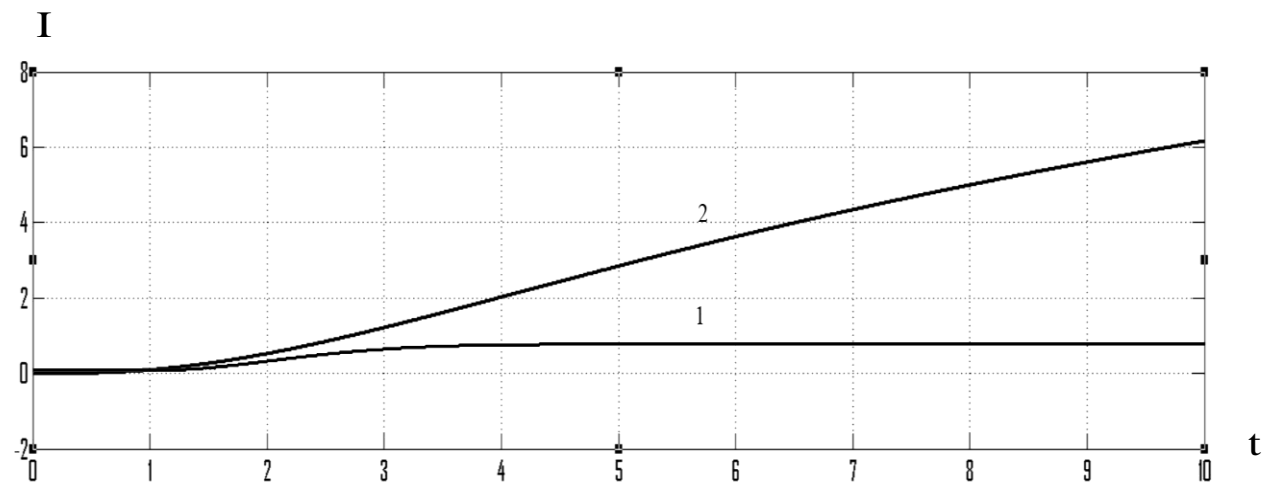


Рисунок 9 – Графік інтеграла різниці регулювання адаптивних систем з адаптивним фільтром і зі звичайним НЧ фільтром без перешкоди 1 і за її наявності 2

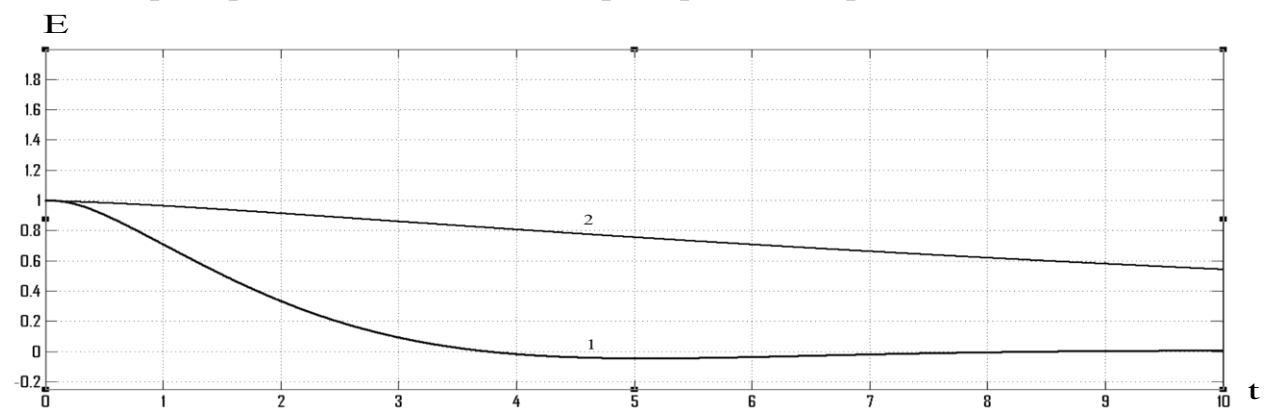


Рисунок 10 – Графік помилки регулювання адаптивної системи з адаптивним фільтром 1 і адаптивної системи зі звичайним НЧ фільтром 2 за наявності перешкоди

Відзначимо, що коефіцієнт ефективності адаптивної системи з адаптивним фільтром порівняно з адаптивною системою зі звичайним НЧ фільтром за наявності перешкоди досягає 4, що дозволяє зменшити перехідний процес до оптимального (рис. 9, 10).

Розроблена комп'ютерна модель на основі синтезу адаптивного фільтру і регулятора управління швидкістю руху поїзда дозволила знизити вплив перешкод від напівпровідникових перетворювачів у процесі їх функціонування

У додатках містяться комп'ютерна програма розрахунку оптимальних параметрів настроювання адаптивного контуру керування та акти впровадження.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язане науково-прикладне задача підвищення ефективності функціонування системи автоматизованого керування рухом поїзда на підставі впровадження удосконалених методів та моделей адаптивної корекції швидкості його руху й адаптивного регулятора з урахуванням критерію гарантованого ступеня стійкості роботи контуру керування поїздом для унеможливлення впливу людського фактора, що підвищить безпеку перевезень.

На підставі проведених досліджень отримані наступні висновки:

1. Аналіз існуючих систем автоматизованого керування поїздом показав їхні недоліки: не формуються електронні завдання для виконання графіка руху, не враховуються нечіткі ситуації за зростання швидкості руху поїзда, не використовуються методи адаптації в контурах керування поїздом.

2. Запропоновано математичну модель керування швидкістю руху поїзда з заданою похибкою відповідно заданого графіка руху, що дозволило в процесі його реалізації забезпечити задану точність виконання.

3. Удосконалено модель адаптивної корекції швидкості руху поїзда підсистеми його автоматизованого керування, що, на відміну від відомих моделей, використовує розширення нечітких мереж Петрі, у які введено квазідвонаправлені дуги та спеціальні багатофункціональні переходи, що підвищує ефективність функціонування системи керування та безпеки руху шляхом унеможливлення впливу людського фактора на процес перевезень.

4. Запропоновано критерій оптимізації адаптивного контуру керування поїздом – критерій гарантованого ступеня стійкості, що, на відміну від існуючих, дозволив урахувати високий порядок характеристичного рівняння замкнутого контуру і, як результат, більш точно описати процес керування.

5. Подальший розвиток одержав метод синтезу адаптивного контуру керування поїздом з дискретним регулятором і адаптивним фільтром. Це дозволило синтезувати адаптивний завадостійкий контур керування швидкістю руху поїзда із використанням критерію гарантованого ступеня стійкості, що, на відміну від існуючих, дозволив урахувати високий порядок характеристичного рівняння замкнутого контуру керування і, як результат, більш точно описати процес керування. При цьому визначаються поточні значення параметрів настроювання фільтра й регулятора в реальному часі з урахуванням корисних сигналів, перешкод і параметрів поїзда. Це в сукупності реалізує можливість побудувати перспективні контури керування з швид-

кодійною динамічною адаптацією зазначених параметрів і дозволяє зменшити вплив перешкод, у тому числі від напівпровідникових перетворювачів.

6. Проведено імітаційне моделювання та порівняння технічних характеристик адаптивного регулятора з адаптивним фільтром й відомого адаптивного регулятора з низькочастотним фільтром, що дозволило оцінити ефективність його роботи, а саме час затягування перехідного процесу зменшується в 4 рази (за наявності перешкод) і наближається до часу перехідного процесу, який відбувається без перешкод. Це дозволяє знизити енергетичні витрати під час перехідного процесу при наявності перешкод.

7. Практичні результати дисертації впроваджені на НВО "Електроважмаш" та УкрДАЗТ, що підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бриксін В.О. Критерій якості ухвалення рішення по керуванню в складній ієрархічній системі / Г.І. Загарій, С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, В.О. Бриксін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2009. №3, С. 54–58.

Здобувачем запропоновано на етапі акумуляції управляючих рішень використати лінії площин модальних значень вихідних термів.

2. Брыксин В.А. Адаптивная фильтрация сигналов в системах измерения и управления / Г.И.Загарий, С.В.Панченко, Б.Т.Сытник, В.А. Брыксин // Вісник Донецького національного університету. – Донецьк 2009. №1. С. 46–49.

Здобувачем запропоноване виключити установку випадковим образом заданих початкових значень коефіцієнтів настроювання, що спростило структуру адаптивного фільтра, підвищило швидкодію адаптації і якості керування швидкістю поїзда.

3. Брыксин В.А. Синтез адаптивных дискретных регуляторов для подвижных объектов с распределенными параметрами и запаздыванием / Г.И. Загарий, С.В. Панченко, Б.Т. Сытник, В.А. Брыксин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2009. – №5, С. 44–55.

Здобувачем запропонований метод переходу від розподіленого по координаті поїзда запізнювання до еквівалентного постійного запізнювання, що значно підвищило швидкість адаптації дискретних регуляторів.

4. Бриксін В.О. Розробка методу адаптивної фільтрації сигналів для пристроїв управління рухомими одиницями / Г.І. Загарій, С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, В.О. Бриксін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2009. №6, С. 32–37.

Здобувачем запропоновано :- замість взаємно кореляційної функції квадрата вихідного сигналу та квадрата вхідного сигналу фільтра застосовується взаємно кореляційна функція квадрата вихідного сигналу та квадрата сигналу помилки фільтрації; - замість μ елементів затримки застосувати інтегратор, це дозволило зменшити кількість коефіцієнтів що настроюються до одного, тим саме спростивши структуру та кількість розрахунків.

5. Бриксін В.О. Алгебра мереж Петрі. Частина 2. Розширення – квазідвонаправлені прості й складні функціональні переходи нечітких МП / Г.І. Загарій,

С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, В.О. Брыксін // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк: 2009. – Вип. 20. – С.16–38.

Здобувачем перевірено нові розширення функціональних квазідвонаправлених переходів та можливість застосування графових структур з новими функціональними переходами ВІДНОШЕННЯ та АКУМУЛЯЦІЯ нечітких мереж Петрі (НМП) для автоматизованої корекції швидкості поїзда.

6. Брыксин В.А. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 1. Оптимизация на основе критерия гарантированной степени устойчивости / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2011. – №2. – С.3–8.

Здобувачем запропонований новий критерій оптимізації систем КГСС, що на відміну від критерію максимального ступеня стійкості не вимагає рішення характеристичного рівняння третього й більше високого порядку.

7. Брыксин В.А. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 2. Моделирование цифровой системы третьего порядка с запаздыванием с использованием критерия гарантированной степени устойчивости / Б.Т.Сытник, В.Б. Сытник, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2011. – №3. – С.14–19.

Здобувачем проведені дослідження контуру керування високого порядку з використанням КГСС.

8. Брыксин В.А. Реализация нейронечетких моделей и регуляторов гарантированной точности / Б.Т.Сытник, С.И. Яцько, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2011. – №. 4. – С. 24–28.

Здобувачем доведена доцільність визначення мінімальної кількості термів для гарантованої точності виконання графіка руху поїзда.

9. Брыксин В.А. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 3. Синтез адаптивного частотно-импульсного ПИ-регулятора с оптимизацией параметров настройки на основе критерия гарантированной степени устойчивости / Б.Т. Сытник, С.И. Яцько, В.А. Брыксин, В.С. Михайленко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: 2012. – №. 1. – С. 71–79.

Здобувачем проведені дослідження контуру керування високого порядку з використанням КГСС з новим дискретним адаптивним частотно-імпульсним ПІ-регулятором.

10. Брыксин В.А. Постановка задачи синтеза системы управления движением поезда / В.А. Брыксин, С.М. Порошин // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2015. – №10. – С.174-177.

Здобувачем доведена доцільність задачі синтезу системи керування рухом поїзда та запропонована система нечіткого завдання швидкості.

11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 45164. Комп'ютерна програма "Розрахунок оптимальних, за критерієм гарантованого ступеня стійкості, параметрів налаштування ПІ-регуляторів для об'єктів другого порядку з запізнен-

ням" / В.О. Бриксін; Державний департамент інтелектуальної власності України, – № 45516; заявка від 20.06.12; зареєстр. 13.08.2012.

12. Брыксин В.А. Адаптивная фильтрация сигналов в системах измерения и управления / Г.И.Загарий, С.В.Панченко, Б.Т.Сытник, В.А. Брыксин // Тези доповідей 22 Міжнародної конференції "Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України", Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – С.48–49.

13. Бриксін В.О. Концепція побудови перспективної системи керування параметрами руху рейкових засобів залізниць / Г.І. Загарій, С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, В.О.Бриксін // Тези доповідей 22 Міжнародної конференції "Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України", Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №4. – С. 16–17.

14. Бриксін В.О. Перспективні системи забезпечення автоматизованого ведення графіку поїздів / В.О. Бриксін, Г.І.Загарій, С.В. Панченко, Б.Т.Ситнік, В.С.Михайленко // Тези доповідей 23 Міжнародної конференції "Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України", Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №4. – С. 26–28.

15. Брыксин В.А. Моделирование цифровой системы третьего порядка с запаздыванием с использованием критерия гарантированной степени устойчивости / В.А. Брыксин // Тези доповідей 24 Міжнародної конференції "Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України", Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №5. – С.108.

16. Бриксін В.О. Інформаційна технологія оптимальної фільтрації сигналів в адаптивних дискретних системах виміру й керування об'єктами рейкового транспорту /В.О. Бриксін // Тези доповідей 25 Міжнародної конференції "Перспективні комп'ютерні, керуючі й телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України", Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4. – С.16.

17. Брыксин В.А. Моделирование цифровой системы высокого порядка с запаздыванием с использованием критерия гарантированной степени устойчивости / В.А. Брыксин, В.Б. Сытник // Тезисы докладов тринадцатой международной научно-технической конференции "Проблемы информатики и моделирования", – Харьков: НТУ "ХПИ", 2013. – С.19.

АНОТАЦІЇ

Бриксін В.О. Моделі та методи автоматизованого керування рухом поїзда на основі адаптивної корекції швидкості. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.13.03 – системи та процеси керування. – Національний технічний університет "ХПІ", Харків, 2016 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі забезпечення необхідних характеристик процесу керування рухом поїзда на основі адапти-

вної корекції його швидкості з урахуванням нестационарних його характеристик та перешкод.

Проведено аналіз систем автоматизованого керування швидкістю руху поїзда. Визначено мінімальну кількість термів для гарантованої точності й необхідного графіка руху поїзда й аналіз підходів до розв'язання завдання автоведення поїзда; обґрунтовано необхідність застосування мереж Петрі з новими функціональними переходами для автоматизованих систем керування швидкістю руху поїзда; розроблено адаптивний регулятор керування швидкістю поїзда в умовах впливу перешкод і експериментально досліджено адаптивний регулятор.

Синтезовано структуру адаптивного фільтра та регулятора, що забезпечує фільтрацію вхідного сигналу $x(t)$, залежно від поточного співвідношення сигнал – перешкода, що дозволило в 4 рази скоротити затягування перехідного процесу системи керування за наявності перешкод. Цей пристрій, порівняно з відомими, має додатковий параметричний вихід, на якому виділяється ідентифікований сигнал, дорівнює поточному співвідношенню сигнал/перешкода і який використовується для додаткового настроювання регулятора за змінення коефіцієнта адаптації. У процесі адаптації відбувається перебудова параметрів настроювання фільтрів і регуляторів у широкому діапазоні їхнього змінювання.

Ключові слова: система автоматизованого керування, синтез, оптимізація, адаптація, методи керування швидкістю поїзда, мережі Петрі, адаптивний регулятор.

Брыксин В.А. Модели и методы автоматизированного управления движением поезда на основе адаптивной коррекции скорости. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления.– Национальный технический университет "ХПИ", Харьков, 2016 г.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи обеспечения необходимых характеристик процесса управления движением поезда на основе адаптивной коррекции его скорости с учетом нестационарных его характеристик и препятствий.

Проведен анализ систем управления скоростью движения поезда. Определено минимальное количество термов для гарантированной точности и необходимого графика движения поезда и анализа подходов к решению задачи автоведения поезда; обоснована необходимость применения сетей Петри с новыми функциональными переходами для автоматизированных систем управления скоростью поезда; разработан адаптивный регулятор управления скоростью поезда в условиях влияния помех и экспериментальное исследование адаптивного регулятора.

Получены аналитические выражения, связывающие новый метод оптимизации - критерий гарантированной степени устойчивости и параметры настройки адаптивного ПИ-регулятора с переменными параметрами поезда и адаптивного фильтра.

Предложен критерий нахождения гарантированной степени устойчивости по правой границе корней характеристического квазиполинома, который удобен тем, что не требует непосредственного решения характеристического квазиполинома третьего порядка для нахождения всех корней и из них минимального корня, опре-

деляющего продолжительность переходного процесса в замкнутом контуре управления.

Разработана компьютерная модель дискретного регулятора и адаптивного фильтра с заданными динамическими характеристиками, что обеспечивает фильтрацию входного сигнала $x(t)$, в зависимости от текущего соотношения сигнал/помеха, что позволило в 4 раза сократить затягивание переходного процесса системы управления при наличии помех от полупроводникового преобразователя. Это устройство, в сравнении с известными, имеет дополнительный параметрический выход, в котором выделяется идентифицированный сигнал, который равняется текущему соотношению сигнал/помеха и который используется для дополнительной настройки регулятора при изменении коэффициента адаптации. В процессе адаптации происходит перестройка параметров настройки фильтра и регулятора в широком диапазоне его изменения.

Ключевые слова: система автоматизированного управления, синтез, оптимизация, адаптация, методы управления скоростью поезда, сети Петри, адаптивный регулятор.

Bryksin V.O. Models and methods of automated train movement control on the basis of adaptive speed adjustment. – A manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences on profession 05.13.03–management systems and processes – National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute», Kharkiv, 2016.

The thesis solves the scientific-and-practical tasks of providing with the required performance for train movement control process based on the adaptive adjustment of its speed with allowance for its non-stationary data and obstacles.

Made was the analysis of train movement speed control systems. Defined was the minimum number of therms for a guaranteed accuracy and a required schedule of train movements, made was the analysis of approaches for automated train operation; ground was given to the necessity of using Petri nets with new functional branches for automated train speed control systems; developed was the adaptive regulator of train speed control under the interference effect. The adaptive regulator was put to a pilot study.

Synthesized was the architecture of the adaptive filter and regulator ensuring the input signal $x(t)$ to be filtered depending on the current signal/noise ratio, which results in four-fold reducing the transition delay of the control system under a semiconductor converter interference. In comparison with the known ones, this device has an extra parametric output for an identified signal extraction, which is equal to a current signal/noise ratio and usable for an additional regulator adjustment when changing the adaptation factor. While adapting, the data resetting of filter and regulator adjustment in a wide band of its change takes place.

Key words: automated control system, synthesis, optimization, adaptation, train speed control methods, Petri nets, adaptive regulator.

Підписано до друку 01.03.16. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк ризографія.
Умовних друк. арк. 0,9. Тир. 100 прим. Зам. № 15-16.
Надруковано у друкарні ПП "Стиль-Іздат".
61022, м. Харків, майдан Свободи, 7. Т. (057) 758-01-08.

СТИЛЬ-ІЗДАТ
ТИПОГРАФІЯ