

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. акад. В. Лазаряна

Панченко Сергій Володимирович

УДК 656.225

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ
ПАРАМЕТРАМИ РУХУ ЗАСОБІВ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем, Міністерство транспорту та зв'язку України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор

Загарій Геннадій Іванович

Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем, завідувач кафедри

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Жуковицький Ігор Володимирович

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, кафедра електронних обчислювальних машин, завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор

Каргін Анатолій Олексійович

Донецький національний університет, кафедра комп'ютерних технологій, завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор

Стасюк Олександр Іонович

Державний економіко – технологічний університет транспорту, м. Київ, кафедра інформаційних систем і технологій, завідувач кафедри

Захист відбудеться "21" 05 2010 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Важливим напрямком забезпечення ефективної експлуатації засобів рейкового транспорту залізниць є розроблення і впровадження перспективних автоматизованих систем керування. Створення перспективних систем керування рейковими рухомими одиницями (РО) відповідає Концепції державної програми реформування залізничного транспорту, основним директивним документам Укрзалізниці. Обставинами, які ускладнюють функціонування таких систем керування, є зміна параметрів РО у часі, наявність випадкових збурюючих впливів і сигналів із змінними характеристиками, застарілі методи та технології керування РО. Пошук нових ідей, які спрямовані на ефективне керування РО, повинен базуватися на системному підході, врахуванні складних умов їх використання та експлуатації за наявності нечітких ситуацій, на врахуванні різних збурюючих впливів і завад та створенні адаптивних контурів керування (КК) РО.

Актуальність теми. Реалізація поставленої проблеми потребує удосконалення автоматизованих систем керування параметрами засобів рейкового транспорту – РО (СК РТ). СК РТ повинні забезпечувати автоматизоване ведення графіка руху. Основним параметром, який суттєво впливає на графік руху, є швидкість РО. СК РТ повинні мати багаторівневу архітектуру, в яку інтегруються підсистеми моделювання процесів, диспетчерського формування рекомендованої швидкості; безпосереднього керування швидкістю РО. До теперішнього часу вказані підсистеми розробляються як автономні. У перспективі, коли необхідне суттєве підвищення швидкості РО, треба буде забезпечувати раціональну взаємодію різних видів транспорту, враховувати нечіткі ситуації перевезень, зовнішні збурення, що впливають на підсистеми керування РО. Тому актуальною стає науково-прикладна проблема створення концептуальних основ високоефективного керування РО за рахунок формування раціональних задаючих впливів на підсистеми (конттури) керування РО на основі методів адаптації шляхом визначення раціональної швидкості РО на різних напрямках та маршрутах перевезень та її підтримання, що у сукупності дозволить автоматизувати процес ведення графіків руху в умовах необхідності підвищення швидкості РО.

Інструментом для реалізації цієї проблеми є розроблення нових моделей та методів керування, які дадуть змогу формувати завдання для реалізації раціональної швидкості РО в складних умовах експлуатації рейкових засобів залізниць. При цьому РО слід розглядати як об'єкти з розподіленими параметрами та запізнюванням. Використання більш достовірних моделей РО для побудови адаптивних контурів керування дозволить підвищити якість процесів керування та удосконалить експлуатацію за рахунок оптимізації КК. Це дасть можливість організувати раціональний розподіл і використання

вищезазначених засобів рейкового транспорту і, як наслідок, скоротити експлуатаційні витрати. Адаптивні контури керування РО є основою для створення перспективних СК РТ залізниць. Тому підвищення ефективності автоматизованого керування засобами рейкового транспорту дозволяє кваліфікувати тему дисертації як актуальну.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Державної програми реформування залізничного транспорту (розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 р. №651-р), Закону України про енергозбереження 174/94 – ВР, Закону України про інформатизацію на залізничному транспорті, Державної програми “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства”, введеної у дію Постановою Кабінету Міністрів України № 769 від 2.07.1998 р., Концепції створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об’єктами (розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.07.2003 р. №410-р), а також науково-дослідних робіт “Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотива” (ДП №0100U000821, № інв. 0205U000381), “Дослідження перспективного гібридного тягового привода на базі синхронних машин з постійними магнітами ” (ДП №0107U000343), “Розроблення вихідних даних до алгоритмів програмного забезпечення релейно-процесорної централізації РУХ” для обладнання станції Водяне Південної залізниці.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертації є розроблення перспективної концепції синтезу автоматизованих систем керування рухомими одиницями рейкового транспорту (СКРТ) залізниць для автоматизованого ведення графіків руху поїздів. Досягнення цієї мети передбачає на основі системного підходу постановку та вирішення таких основних задач:

- проаналізувати тенденції розвитку систем керування засобами рейкового транспорту;
- виконати аналіз існуючих методів синтезу контурів керування рухомими одиницями;
- сформувані концептуальний підхід, що удосконалює побудову багаторівневої СК РТ, та обґрунтувати критерії оптимізації середнього та нижнього рівнів системи, які забезпечують впевненість у правильності вироблення керуючих дій у реальному часі;
- запропонувати комплекс логіко-динамічних моделей диспетчерських підсистем керування рухомими одиницями з врахуванням нечітких ситуацій на основі графових структур, які враховують топологічну структуру залізниць;
- розробити базу даних, необхідних для функціонування диспетчерських підсистем керування рухомими рейковими засобами транспорту для формування та виведення керуючих впливів, які забезпечать оптимальні параметри руху та раціональне взаєморозміщення рухомих одиниць на різних маршрутах;
- обґрунтувати та розробити метод синтезу контурів керування рухомими одиницями на основі використання у таких контурах адаптивних фільтрів та

регуляторів, які враховують реальний характер зміни сигналів, параметрів рухомих одиниць та збурюючих впливів;

- розробити універсальну модель контура керування РО, яка враховує розподілений характер рухомої одиниці як об'єкта керування, завади, які накладаються на сигнали, та використовує методи адаптації для вибору параметрів настроювання фільтрів та регуляторів;

- дослідити функціонування адаптивних контурів керування шляхом моделювання для оптимізації їх параметрів та формування даних для реалізації керуючих контролерів.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованого керування засобами рейкового транспорту.

Предмет дослідження – моделі і методи удосконалення підсистем оперативно-диспетчерського керування та контурів керування рухомими одиницями.

Методи досліджень. Методи побудови ієрархічних систем для організації автоматизованого керування засобами рейкового транспорту з використанням системного підходу. Методи функціонування організаційно-диспетчерських підсистем середнього рівня ієрархії на основі графових моделей та нечіткої логіки. Методи теорії систем керування, фільтрації, оптимального керування та адаптації для побудови заводостійких контурів керування рухомими одиницями рейкового транспорту залізниць.

Наукова новизна одержаних результатів.

У дисертації вирішено науково-прикладну проблему розроблення і обґрунтування перспективної концепції синтезу систем автоматизованого керування засобами рейкового транспорту залізниць на основі теоретичного розвитку та узагальнення моделей та методів для забезпечення автоматизованого ведення графіка руху поїздів.

Наукова новизна визначається такими положеннями:

Вперше:

1. На основі системного підходу сформульовано перспективну організацію СК РТ як ієрархічної структури, яка враховує динамічні властивості процесів у диспетчерських підсистемах, що функціонують в умовах невизначеності, а також особливості процесів у контурах керування рухомими одиницями, модель яких побудовано на основі розподіленого характеру об'єкту керування з врахуванням характеристик сигналів та зміни параметрів об'єкту, що дозволить планувати швидкість поїздів та скоротити парк вагонів та локомотивів і удосконалити експлуатацію рейкових засобів транспорту.

2. Створено комплекс логіко-динамічних моделей диспетчерських підсистем середнього рівня СК РТ на основі розробленої бази даних та нових графових структур, які функціонують в умовах невизначеності і в які на відміну від існуючих моделей введені нові розширення: квазідвонаправленість дуг та багатофункціональні нечіткі переходи, які дозволяють врахувати динаміку функціонування засобів транспорту. Це надає змогу сформулювати дані про кількість необхідних рухомих одиниць та параметри їх руху в залежності від

поточних ситуацій та значно скорочує час вироблення керуючих дій для контурів керування рухомими одиницями у нечітких ситуаціях, що у сукупності дозволить підвищити стабільність графіка руху, наприклад, пасажирських перевезень з 92 до 95 %.

3. Отримані та обґрунтовані аналітичні залежності параметрів настроювання адаптивних фільтрів та регуляторів контурів керування рухомими одиницями на нижньому рівні СК РТ, які на відміну від відомих залежностей враховують зміну поточних значень сигналів та завад і розподілений характер параметрів рухомих одиниць як об'єкта керування при передачі тягових зусиль вздовж поїзда та дозволяють реалізувати нові процедури динамічної адаптації; при цьому доведено, що рухома одиниця як об'єкт керування з розподіленими параметрами може бути описана лінійною динамічною ланкою із еквівалентним запізнюванням. Це дозволяє більш достовірно проводити облік динамічних властивостей поїздів як об'єктів керування, покращити якість функціонування контурів керування та, як наслідок, за рахунок підвищення стабільності підтримання графіка руху зменшити кількість непередбачуваних зупинок, нераціональних затримок поїздів всіх категорій на дільницях залізниць.

4. Синтезовано універсальну модель адаптивного завадостійкого контуру керування рухомими одиницями, яка відрізняється від відомих моделей наявністю адаптивного фільтра, адаптивного регулятора, об'єкта із змінюваним запізнюванням та схем обчислення у реальному часі сталої часу фільтра, параметрів настроювання регулятора, які отримуються шляхом поточних розрахунків у реальному часі критерію оптимізації на основі оцінки завад та параметрів РО, що у сукупності реалізує процедури динамічної адаптації вказаних параметрів. Це дасть змогу при реалізації перспективних контурів керування підвищити дільничну швидкість поїздів. При збільшенні цієї швидкості на 10 %, наприклад на напрямку Куп'янськ - Одеса, може бути скорочено парк локомотивів та вагонів на 3 – 4 % від існуючого на напрямку загального парку вагонів та локомотивів.

5. *Удосконалено* критерій оперативності вироблення на середньому рівні СК РТ у реальному часі керуючих дій у контури керування РО нижнього рівня, який на відміну від існуючих забезпечує впевненість у правильності вироблення керуючих дій та підвищує достовірність формування завдань для контурів керування нижнього рівня, що сприяє веденню більш стабільних графіків руху.

6. *Удосконалено* процедуру виділення сигналів із суміші сигнал – завада, що дає змогу будувати прості адаптивні фільтри для контурів керування рухомими одиницями, які відрізняються наявністю процедури поточного обчислення сталої часу, яка залежить від відношення рівнів корисного сигналу та завади, що удосконалює експлуатацію рейкових засобів транспорту.

7. *Подальшого розвитку* набув науковий підхід щодо синтезу контурів керування РО, параметри настроювання яких обчислюються неперервно на основі критерію максимального ступеня стійкості, у функціонал якого введено

з додаткового параметричного виходу фільтра значення відношення сигнал-завада, що забезпечує одержання виразів для параметрів настроювання регуляторів у вигляді алгебраїчних співвідношень і на відміну від існуючих методів оптимізації параметрів контурів керування не потребує обчислення інтегралів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено метод та комплекс моделей, які дозволили моделювати процеси керування рухомими одиницями з урахуванням критерію оперативності вироблення керуючих дій в умовах невизначеності, що забезпечує прогнозування параметрів РО. Це дає змогу диспетчерському персоналу приймати більш достовірні рішення щодо вироблення керуючих впливів. Отримані результати впроваджено на Донецькій залізниці в підсистемі диспетчерського керування (акт впровадження ДП “Донецька залізниця”).

Розроблено процедури моделювання процесів керування рухомими одиницями в умовах невизначеності, що на основі запропонованих квазідвонаправлених графових структур з новими функціональними переходами дало можливість побудувати АРМ диспетчерського персоналу для формування керуючих впливів в контури керування РО (акт впровадження ВАТ “Київ-Дніпровська МППЗТ”).

Розроблено процедури настроювання контурів керування рухомими одиницями на основі критерію максимального ступеня стійкості з врахуванням передатної функції адаптивного фільтра, що підвищило завадостійкість контурів керування та дозволило скоротити тривалість перехідних процесів, за рахунок чого скорочуються витрати енергоресурсів (акт впровадження СТТО “Південна залізниця”).

Розроблені нові моделі та процедури побудови підсистем керування середнього та нижнього рівнів СК РТ у сукупності являють собою концепцію створення перспективних СК РТ, що знайшло впровадження на міському транспорті (акт впровадження на Харківському підприємстві “Міськелектротранс”).

Підходи, розроблені у дисертації, використовуються у навчальному процесі УкрДАЗТ у дипломному проектуванні та при викладанні дисциплін, пов’язаних з системами керування (акт впровадження УкрДАЗТ).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором.

Наукові праці [8, 11, 16-18, 22, 31-34] виконані автором одноосібно.

У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий.

У [9, 14, 21, 29] - проведено аналіз досліджень мереж Петрі, введені нові їх розширення та використано розроблені розширення для побудови комплексу моделей; у [1,4,24,30,36,37] – проведено аналіз багаторівневих систем, запропоновано критерій оцінки оперативності прийняття рішень з впевненістю у їх правильності та розроблено моделі функціонування підсистем; у [2,3,6,7,12,13,16,19,20,23,28] – досліджено функціонування основного датчика

систем залізничної автоматики – рейкових кіл, визначені напрямки їх удосконалення, оцінено вплив зовнішніх завад, запропоновано модель та метод керування виконавчими пристроями; у [5, 10, 26, 27] – сформовано метод побудови адаптивних фільтрів на основі запропонованого автором нового критерію, виконано їх дослідження; у [15,25,35] – запропоновано метод синтезу адаптивних контурів керування на основі критерію максимального ступеня стійкості, виконано дослідження адаптивних контурів, а також запропоновано напрямок використання контролерів для їх реалізації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались, обговорювались і були схвалені на: Міжнародній конференції «Автоматика – 2002» (м. Донецьк, жовтень 2002 р.); 69-й, 70-й та 71-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, УкрДАЗТ, квітень 2007–2009 рр.); 18-й, 19-й та 20-й міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті» (м. Алушта, вересень 2005–2007 рр.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» ЕКУЗТ 2006 та ЕКУЗТ 2007 (м. Судак, червень 2006–2007 рр.); 1-й міжнародній науковій конференції «Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України» (м. Євпаторія, травень 2007 р.); сесії «Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных и прикладных научных задач», сессия ИВТН-2008 (м. Москва, грудень 2008 р.); 21-й та 22-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективні комп'ютерні керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту» (м. Алушта, вересень 2008–2009 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, промисловості та освіті» (м. Дніпропетровськ, травень 2009 р.).

Дисертаційна робота повністю доповідалась на: науковому семінарі кафедр «Спеціалізовані комп'ютерні системи», «Управління експлуатаційною роботою», «Автоматика і комп'ютерне телекерування рухом поїздів» Української державної академії залізничного транспорту; науково-технічній нараді Державного науково-дослідного центру Укрзалізниці; розширеному засіданні кафедри «Транспортні технології та мехатроніка автотранспортних засобів» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 37 робіт, серед них 27 праць у фахових наукових виданнях ВАК України, 2 патенти України та 8 додаткових праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, восьми розділів, висновку та трьох додатків. Основний текст роботи складає 294 сторінки, робота включає 72 рисунки та 13 таблиць на окремих сторінках. Список використаних літературних джерел складає 229 найменувань на 21 сторінці, 3 додатки на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми для удосконалення автоматизованих систем керування засобами рейкового транспорту залізниць. Сформульовані мета та задачі дослідження, відображені зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наукова новизна та практична цінність дисертаційної роботи, подано її загальну характеристику.

У першому розділі, виходячи з мети дисертації, проведені дослідження та аналіз автоматизованих систем керування засобами рейкового транспорту.

Розглянуто загальні характеристики СК РТ, особливості їх побудови, стан теоретичних засад їх дослідження. Проаналізовано ієрархічні рівні, методи дослідження підсистем середнього рівня – диспетчерських підсистем та нижнього рівня – контурів керування РО. До теперішнього часу підсистеми цих рівнів ієрархії досліджувалися незалежно.

Відмічено нечіткість поводження СК РТ, виникнення проблем побудови бази даних та структур підсистем на основі знань, доцільність використання інтелектуального керування, необхідність побудови нових моделей підсистем ієрархічних рівнів СК РТ, а також ефективних методів, які забезпечують компенсацію збурень та завад у сигналах.

Показано, що збереження енергоресурсів при керуванні РО можливе тільки шляхом удосконалення контурів керування РО на основі нових результатів теорії керування, в тому числі методів адаптації.

Значний внесок у створення загальної теорії складних систем, до яких відносяться СК РТ, зробили вчені: Ashby M., Бесекерський В.А., Боднер І.Є., Вінер Н., Chang T., Ємельянов С.В., Загарій Г.І., Каргін А.О., Кунцевич В.М., Красовський А.А., Kalman R., Kusiak A., Kwakernaak H., Mamdani T., Mesarovich M., Ostrem K., Petri C., Saridis W., Солодовников В.В., Spuner D., Takahara Y., Тунік А.А., Фомін В. Н., Zade R., Ципкін Я.З., Якубович В.О. та ін.

Удосконаленню СК РТ присвячені праці: Бабушкіна Г.Ф., Блохіна Є. П., Бобровського В.І., Бутько Т.В, Воркута А.І., Данька М.І., Долі В.К., Жуковицького І.В., Лазаряна В. А., Лапкіна О.І., Мироненка В.К., Нагорного Є.В., Негрея В.Я., Нечаєва Г.І., Поліщука В.П., Скалозуба В.В., Смахова Л.Л., Ситніка Б.Т., Ташибаєва І.І., Цветова Ю.М., Шафіта Є.М., Шибяєва О.Г. та ін.

Проаналізовано основні напрямки сучасної теорії побудови контурів керування реального часу: методи оцінки їх стійкості, оптимальної адаптивної фільтрації, адаптивного керування, процедур побудови адаптивних КК.

Проведений аналіз показав, що СК РТ характеризуються: змінними у часі параметрами; складністю; нечіткістю значень параметрів; нелінійністю; наявністю інтенсивних завад та збурень із хаотично змінюваними характеристиками. Все зазначене вимагає значних витрат часу на реалізацію керуючих дій та процедури адаптації.

Ефективність функціонування СК РТ визначається якістю алгоритмів автопідстроювання пристроїв фільтрації й керування, ступенем оптимальності їхніх параметрів настроювання в умовах дії випадкових збурень.

Удосконалення диспетчерських підсистем та контурів керування рейковими рухомими одиницями в умовах підвищення швидкості руху потребує компенсації обмежених можливостей персоналу, що може бути реалізовано шляхом використання нечіткої логіки та методів адаптації, які забезпечать удосконалення експлуатації засобів транспорту, в тому числі автоматизоване ведення графіка руху поїздів.

На теперішній час в СК РТ має місце така ситуація:

– при побудові підсистем диспетчерського керування рухом РО відсутня концепція побудови підсистем ситуаційного моделювання та керування, що ґрунтувалася б на інтеграції локальних і глобальних моделей виробничих ситуацій, які функціонують у реальному часі;

– методи одержання поточних значень відношень оцінок випадкових корисних сигналів та завад, моделі оптимізації параметрів настроювання пристроїв фільтрації й керування, а також моделі автопідстроювання пристроїв фільтрації й керування РО на основі цих знань у літературі описані розрізнено, тільки стосовно електроприводів, а не РО в цілому;

– систематичне дослідження моделей підсистем СК РТ не проводилося.

Таким чином, виникає науково-прикладна проблема розроблення і обґрунтування перспективної концепції синтезу систем автоматизованого керування засобами рейкового транспорту та узагальнення моделей та методів для забезпечення автоматизованого ведення графіка руху поїздів.

Зазначені завдання досліджень дисертації показані на рис. 1, де наведені основні технологічні процедури, які повинні бути реалізовані в ієрархічній СК РТ. Ці процедури у дисертації реалізовані на основі розвитку методів теорії керування, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій і останніх досягнень системології стосовно до СК РТ.

У другому розділі сформовано концептуальний підхід щодо удосконалення СК РТ. Враховуючи складність, нелінійність, нестационарність, багатофункціональність, невизначеність інформації, необхідно будувати такі системи на основі теорії нечіткої логіки та методів адаптивного керування.

СК РТ, наприклад, для магістрального залізничного транспорту можуть бути подані у вигляді багаторівневої ієрархічної структури (рис. 2).

Нижній рівень служить для безпосереднього керування РО. Він повинен містити контури керування рухомими одиницями. Інформація для цих контурів (рекомендації щодо швидкості) формується диспетчерськими підсистемами, які враховують таку інформацію: про стан процесу перевезень на станціях та перегонах, які входять у полігони залізниць; про параметри та стан рухомих одиниць.

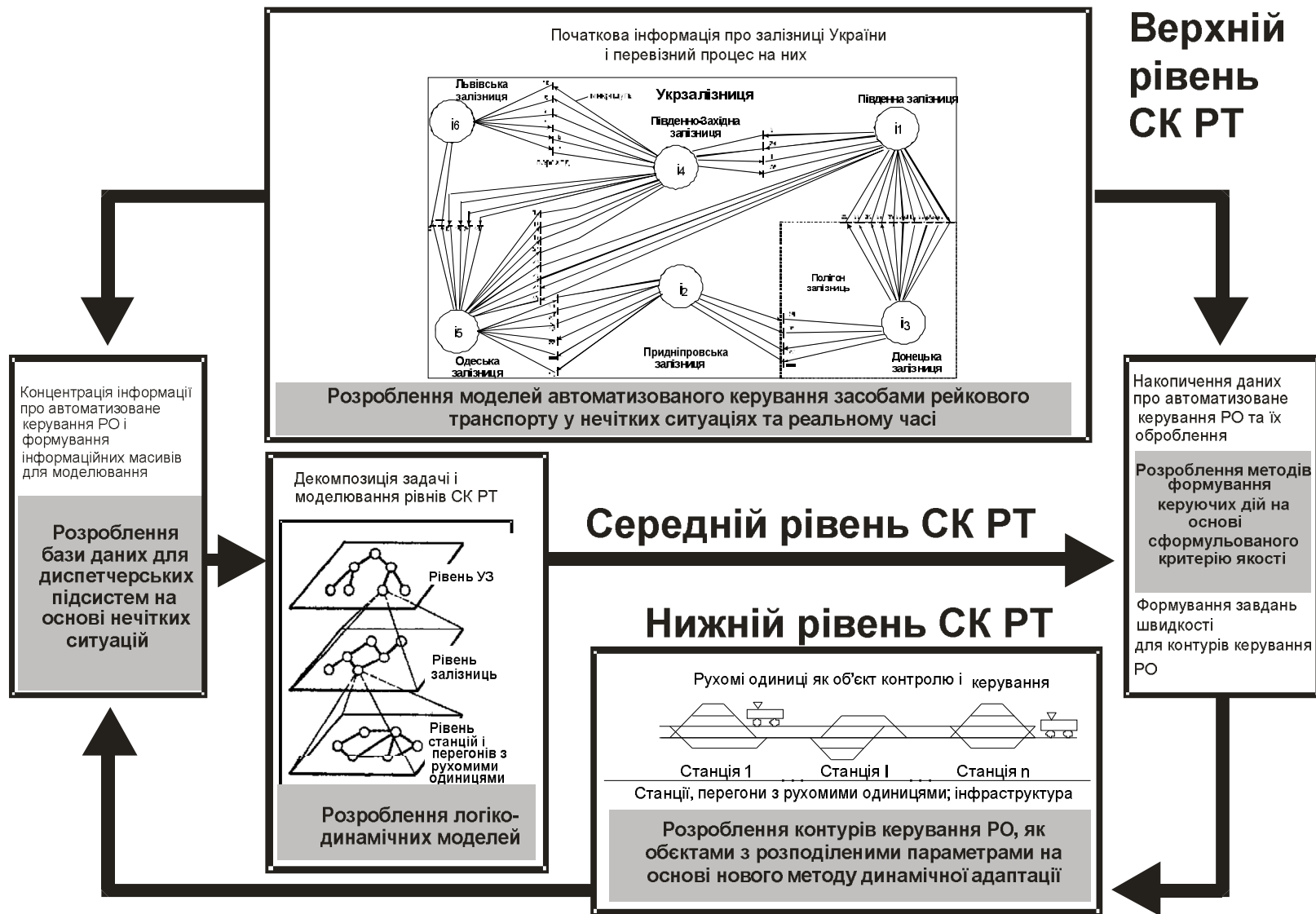


Рис. 1. Узагальнені процедури керування рейковими засобами залізниць і завдання досліджень дисертації

У сучасних умовах, коли функціонування рейкових засобів транспорту ускладнюється (міжнародні транспортні коридори, надзвичайні ситуації, нечіткість інформації), потрібна реалізація заходів щодо підвищення оперативності прийняття рішень диспетчерами. У зв'язку із цим виникає проблема забезпечення диспетчерів додатковою інформацією про можливі варіанти прийняття рішень. Для цього *потрібне створення відповідних моделей*, що забезпечують перегляд і прогнозування різних ситуацій для прийняття об'єктивних рішень. При цьому найважливішим завданням є *оперативність моделювання в реальному масштабі часу*, протягом якого можуть бути вироблені завдання щодо швидкості в КК нижнього рівня. Необхідно забезпечити впевненість у правильності формування керуючих дій. Час виконання оперативного моделювання обмежується динамікою цих контурів.

Для удосконалення СК РТ необхідно *створювати спрощені моделі*, які адекватно відбивають реальні процеси формування керуючих дій.

Проаналізовано основні особливості середнього рівня ієрархії СК РТ. Цей рівень відіграє важливу роль у формуванні завдань швидкості у контури керування нижнього рівня та повинен забезпечувати автоматизоване ведення графіків руху поїздів.

Середній рівень можна розглядати як дискретно-подійний, на якому рішення приймаються в залежності від подій: завантаженість напрямків перевезень РО, наявність додаткових рухомих одиниць, необхідність формування-розформування поїздів та ін.

Доведено, що моделі диспетчерських підсистем СК РТ доцільно формувати на основі графових структур, бо вони наочно відображають географічний характер рейкової транспортної топології (полігони залізниць, залізничні вузли, пасажирські, товарні, сортувальні станції).

При цьому для удосконалення моделей потрібні раціональні графові структури, які відрізнялися би скороченою кількістю елементів (наприклад, вершин, переходів, ребер), що значно спростило би моделі.

За рахунок формування нових моделей можливе скорочення терміну моделювання ситуацій, які виникають при перевезеннях, що дає змогу більш оперативно приймати управлінські рішення та прогнозувати ситуації.

Основна задача середнього рівня – оперативне формування задаючих впливів на контури керування РО.

Актуальним є створення більш досконалих диспетчерських підсистем. Однією з головних функцій таких підсистем повинна бути процедура вироблення керуючих дій на основі нечіткої логіки. *Важливе значення має створення моделей, які функціонують у режимі реального або прискореного часу*, що забезпечить оперативність прийняття рішень з прогнозуванням ситуацій.

Виходячи із дворівневої структури СК РТ в дисертації розробляються моделі підсистем середнього та контурів керування нижнього рівнів.

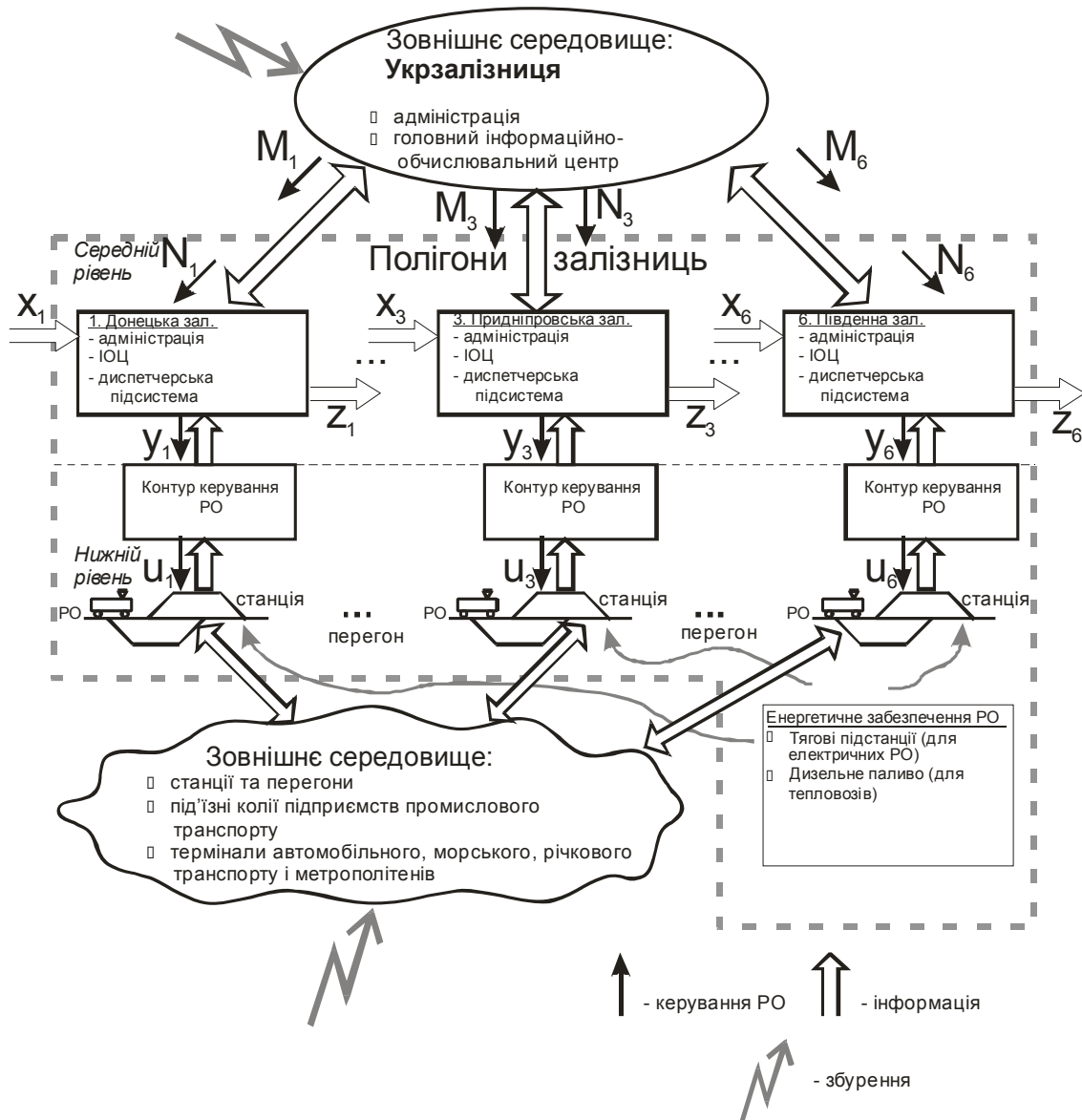


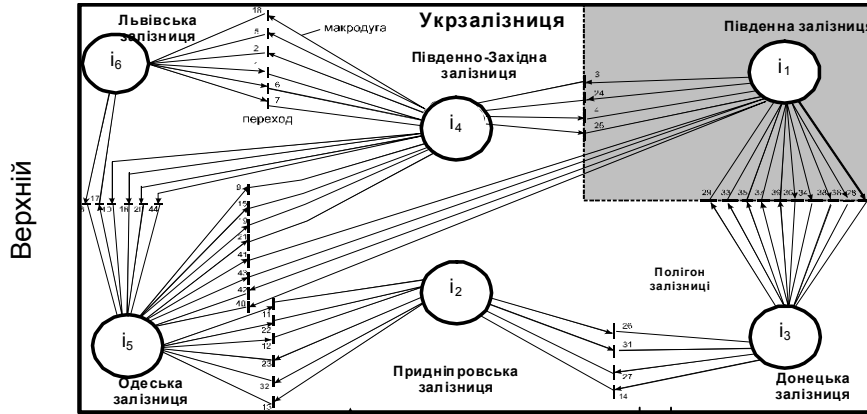
Рис. 2. Дворівнева структура СК РТ

Прийняті у дисертації критерії оптимізації СК РТ наведено на рис. 3. Результати розділу відображені в роботах [1,4,24,30,31,32,34,36,37].

У **третьому розділі** запропоновано розширення чітких мереж Петрі (МП), яке полягає в доповненні відомих елементів МП новими елементами – спеціальними квазідвонаправленими дугами, введення яких збільшує мовні можливості графів, особливо при побудові моделей, які відображують маневрові пересування РО, що скорочує складність моделей до 50 %.

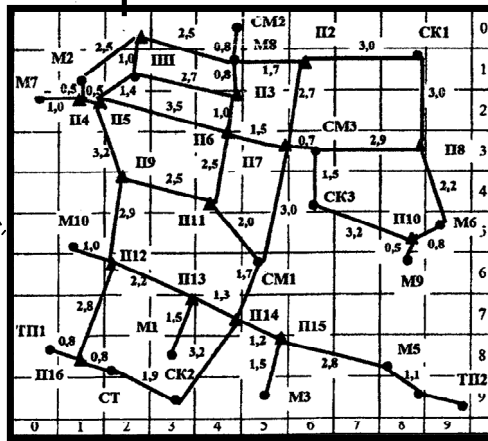
Рівень

Функції (1), критерій (2), обмеження (3)



1. Координація роботи підсистем середнього рівня
2. Оперативність прийняття рішень
3. Час протікання процесів у контурах нижнього рівня

Середній



1. Формування задаючих впливів на контури керування нижнього рівня
2. Оперативність прийняття рішень, впевненість у правильності прийняття рішень
3. Час протікання процесів у контурах нижнього рівня

Контури керування

1. Виділення корисних сигналів із суміші сигнал/завада; керування швидкістю рухомих одиниць

Нижній



2. Мінімум інтеграла куба похибки сигналів; максимальний ступінь стійкості
3. Енергетичні параметри (рівні) сигналу та завади; параметри рухомих одиниць



Рис. 3. Критерії оптимізації СК РТ

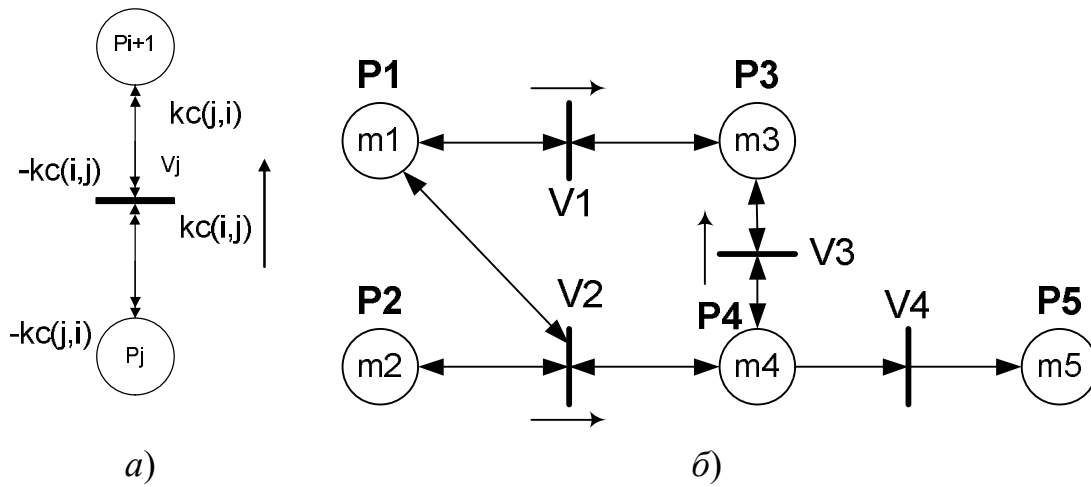


Рис. 4. Квазідвонаправлена МП: а) біграф; б) приклад мережі

Для надання чітким МП динамічних властивостей в переходи введено затримку міток у часі на будь-яке число тактів моделювання. Врахування затримок часу запропоновано описувати дискретною передатною функцією затримки спрацьовування переходів на k тактів дискретного часу, що на відміну від відомих моделей дає можливість досліджувати динаміку функціонування МП у реальному часі з використанням методів аналізу та синтезу динамічних систем.

Апроксимація за допомогою дискретного Z -перетворення Лапласа дозволила одержати передатні функції затримки спрацьовування переходів у вигляді добутку операторів часу затримки спрацьовування кожного з V_j переходів. Цей добуток обумовлений послідовним характером зміни розміток при переході з однієї позиції в іншу в процесі спрацьовування переходів. Спрацьовування j -го переходу описується такою передатною функцією

$$W_{j,k}(V_j, Z) = W_{1,1}(V_j, Z) * W_{1,2}(V_j, Z) * W_{2,1}(V_j, Z) * \dots * W_{5,9}(V_j, Z) = \\ = Z^{-T(n_{1,1}+n_{1,2}+n_{1,3}+n_{1,4}+n_{1,5}+n_{1,6}+n_{1,7}+n_{2,1}+n_{2,2}+n_{2,3}+n_{2,4}+n_{2,5}+n_{4,1}+n_{4,2}+n_{4,3}+n_{4,4}+n_{4,5}+n_{5,1}+n_{5,2}+n_{5,3}+n_{5,4}+n_{5,5}+n_{5,6}+n_{5,7}+n_{5,8}+n_{5,9})}$$

де $t=n_{j,k}T$ – момент часу; j – номер переходу, $n_{j,k}$ – число n_j дискретних тактів T спрацьовувань переходу V_j у циклі $k = \overline{1, \Psi_j}$ для розмітки $M_{j,k}$, ($n_{j,1} \neq n_{j,2} \neq \dots \neq n_{j,\Psi_j}$).

Для нечітких МП запропоновані нові розширення функціональних квазідвонаправлених складних переходів:

імплікаційний перехід – ВІДНОШЕННЯ $R_{j,i}(X_{ji} \times Y_{ji})$ між змінними X_{ji} і Y_{ji} , тобто i значень j термів змінної X_{ji} у фазифіковані значення відповідних i термів відповідних j лінгвістичних або нечітких змінних Y_{ji} , що реалізує висловлення ЯКЩО – ТО. Умові ЯКЩО цього правила відповідає множина вхідних позицій $P_{j,i}(X_{ji})$ цього переходу, а висновку ТО – множина вихідних позицій $P_{j,i+1}(Y_{ji})$; *переходи, що реалізують такі операції:*

КОМПОЗИЦІЇ $F_{комп}$ НЕЧІТКИХ МНОЖИН A та ВІДНОШЕНЬ R_i , тобто $F_{комп} = (A \circ R_i)$;

КОМПОЗИЦІЇ R_{ij} ВІДНОШЕНЬ R_i і ВІДНОШЕНЬ R_j , тобто ВІДНОШЕНЬ $R_{ij} = (R_i \circ R_j)$ або max–min – згортки.

ФАЗИФІКАЦІЇ $F_{агр}$ вхідних змінних, яка здійснює агрегування – знаходження ступенів істинності для усіх вхідних термів;

ДЕФАЗИФІКАЦІЇ вихідних змінних, яка здійснює активізацію $F_{акт}$ підзаключень – знаходження ступенів істинності усіх заключень правил нечітких продукцій (НП) на етапі логічного розв’язання й акумуляції $F_{акк}$ заключень правил НП – знаходження сумарної функції приналежності для всіх лінгвістичних змінних множин правил НП на етапі формування управляючого впливу (наприклад, за запропонованим критерієм упевненості в правильності прийняття рішення).

Вказані розширення дозволили створити універсальну графову модель диспетчерських підсистем керування параметрами руху РО на основі нечітких мереж Петрі. Модель функціонує при нечітких умовах, враховує усі змінні, необхідні для завдання параметрів руху, що дає змогу досліджувати варіанти формування керуючих дій. При цьому до 2 разів скорочується час вироблення керуючих дій та зменшуються необхідні обчислювальні ресурси.

Розроблені моделі дозволяють отримати дані, які необхідні для побудови нових АРМів з розширеними функціональними можливостями, що буде сприяти удосконаленню експлуатації рейкових засобів залізниць.

Результати розділу відображені в роботах [9,21,22,29,33].

Розділ четвертий присвячений розробленню моделей підсистем диспетчерського керування рейковими засобами залізниць на основі запропонованих у третьому розділі розширених чітких і нечітких мереж Петрі. Диспетчерські підсистеми керування засобами рейкового транспорту утворюють середній рівень багаторівневої СКРТ. Від їх функціонування залежить правильність формування керуючих дій, які надаються у КК нижнього рівня системи. На основі декомпозиції диспетчерської підсистеми розроблені графові моделі її складових. На залізничних станціях може проводитися формування поїздів та маневрова робота. Розглянуто приклади моделей мереж маневрових маршрутів окремих станцій, на яких виділені особливі ділянки. Моделі містять вершини, у ролі яких виступають ділянки, кінцеві пункти станції, а також дуги, якими служать рейкові нитки, що сполучають вершини мережі. Схеми маршрутів відображаються у вигляді орієнтованих графів. Вершини відображують номери ділянок, переходи – стрілочні переводи, а дуги – сполучення виділених переходів і вершин із врахуванням поточного часу руху та кількості вершин маршруту між граничними зупинками ділянок.

Кожна РО у часі розміщена на маршруті m . Відносно цієї РО розміщені усі інші РО цього маршруту. Якщо розглядати у часі розподіл РО, починаючи з нульової відносно усіх інших РО маршруту, то з використанням

Z-перетворення розподіл можливих станів нульової РО маршруту можна записати у вигляді

$$C_{m,0}^{\lambda,v}(Z) = \frac{1}{1-Z^{-M_m}} \sum_{v=0}^{M_m} C_{m,r}^v Z^{-\lambda,v}$$

де r – номер вершини мережі, у якій перебуває j -та РО $\{j \in (0, N)\}$ в v -й момент часу; vT ($v = 1, 2, \dots, 2M_m$) – відрізки часу; λ_r – коефіцієнт, що враховує зміну значень v ; $C_{m,r}^v$ – стан РО (якщо $C_{m,r}^v = 1$, то в цій вершині мережі знаходиться РО, а якщо $C_{m,r}^v = 0$, то РО – відсутня).

У такий спосіб формула відбиває розподіл станів j РО у вершинах r мережної моделі в v -ті моменти часу.

Стан кожного з кортежів у прямому й зворотному напрямках можна подати формулою

$$C_{m,j}^i(Z) = C_m^{\lambda_r v}(Z) C_m^{\eta_m \lambda_j j}(Z) + \overline{C}_m^{\lambda_r v}(Z) \overline{C}_m^{\eta_m \lambda_j j}(Z) =$$

$$= \frac{Z^{M_m}}{Z^{M_m} - 1} \left\{ \sum_{v=0}^{M_m} C_{m,r}^v Z^{-\lambda_r v} \sum_{j=0}^{N_m} Z^{-\eta_m \lambda_j j} + \sum_{v=0}^{2M_m} \overline{C}_{m,r}^v Z^{-\lambda_r v} \sum_{j=0}^{N_m} Z^{-\eta_m \lambda_j j} \right\},$$

де $N_m = 0, m$ – поточне число РО на m -му маршруті; λ_j – коефіцієнт, що враховує зміну значень $\eta_m j$; η_m – число інтервалів ($\eta_m = 0, M_m - 1$), через які розміщені всі РО m -го маршруту.

Таким чином, для одержання необхідного опису динаміки кортежів, наведених послідовностями решітчастих функцій на множині (r, v, j, m, η_m) , необхідно розподіл j -тої РО на множині r вершин мережної моделі в v -ті моменти часу помножити на кортежі з N_m РО в $\eta_m \cdot j$ моменти часу. Отримані розподіли проєкцій j кортежів на i -ту вісь часу ($i = \eta_m \cdot j + v$) дають шуканий розподіл кортежів.

Для ряду маршрутів одна з r вершин мережі буде загальною, тобто через цю r -ту вершину може пройти в i -ті моменти часу $C_{m,r}^i(Z)$ РО відповідно до формули

$$C_{m,r}^i(Z) = \frac{1}{1-Z^{-M_k}} \sum_{m=0}^l [C_{m,r}^v Z^{-\lambda_r v} C_r^{\eta_k \lambda_j j}(Z)]$$

Таким чином, остання формула визначає відносне розміщення всіх РО, що проходять через r -ту вершину мережі в i -ті моменти часу.

Впливаючи на нечіткі параметри λ_r, η_m та λ_j , можна здійснювати керування ситуацією на маршрутах мережі.

Запропоновано організацію декларативної бази знань ситуаційної підсистеми диспетчерського керування рухом рейкових засобів на основі сукупності продукційних правил оцінки поточної ситуації, правил оцінки та формування узагальненої модельної ситуації, правил формування керування.

Розроблено концептуальні положення щодо організації підсистем ситуаційного диспетчерського керування і формування керуючих дій на прикладі Харківського вузла Південної залізниці, виконано структурування підсистем, сформовані фрагменти ситуацій.

Обґрунтовано метод єдиного формального опису руху окремих РО на основі локальних моделей та сукупності рухомих одиниць на основі глобальної моделі. Запропоновано моделі різних маршрутів, які функціонують у реальному часі. Моделі побудовані із використанням мереж Петрі, операторів зсуву Z^{-1} , Z -перетворення та враховують динаміку руху.

Розроблено моделі виробничих ситуацій у підсистемі ситуаційного керування швидкістю розпуску поїздів, які враховують розміщення всіх РО на маршрутній мережі, зміну відстані і вікон між РО, а також розподіл конкретних РО на окремих маршрутах у дискретні моменти часу.

Ці моделі можуть бути використані для підвищення оперативності прийняття рішень диспетчерами на основі прогнозування динаміки розподілу та руху РО на станціях та ділянках.

Результати розділу відображені в роботах [22,29,32].

В п'ятому розділі розроблено моделі ситуаційних систем диспетчерського керування рухомими одиницями рейкового транспорту. Для організації системи диспетчерського керування обраний підхід ситуаційного планування руху й прийняття диспетчерського керування в реальному часі. Модель ситуації структуровано шляхом виділення в ній фрагментів за ознакою джерела інформації, використовуюваної при її формуванні.

Ситуація S складається з сукупності фрагментів:

$$S = \{C^1, C^2, C^3, C^4, C^5\},$$

де $C^1 = \{C_1^1, C_2^1, \dots, C_k^1\}_j$ – фрагмент, що описує місцезнаходження (в системі координат маршрутів) всіх рухомих одиниць; складові інших фрагментів такі:

C_i^1 – координата i -тої РО; $C^2 = \{C_1^2, C_2^2, \dots, C_k^2\}$ – описує наповнення, наприклад, C_i^2 – наповнення i -ої РО; $C^3 = \{C_1^3, C_2^3, \dots, C_k^3\}$ – характеризує технічний стан РО; $C^4 = \{C_1^4, C_2^4, \dots, C_n^4\}$ – характеризує кількість пасажирів, наприклад, C_i^4 – на i -тій зупинці станції; $C^5 = \{C_1^5, C_2^5, \dots, C_m^5\}$ – характеризує технічний і колійний стан ділянок маршруту, наприклад, C_i^5 – i -тої ділянки маршруту.

Якість диспетчерського керування, наприклад рухом пасажирських поїздів, оцінюється суперечливими величинами: R_1 – змінні (добові) пасажироперевезення; R_2 – комфортність пасажирів; R_3 – безпека перевезень; R_4 – енерговитрати на перевезення; R_5 – вартість перевезення на одного пасажирів; R_6 – запропонований у розділі 2 критерій правильності прийняття оперативних рішень.

В результаті диспетчерських рішень формуються керуючі дії на об'єкт керування

$U = \{U_1, U_2, \dots, U_k\}$ (U_j — керуюча дія щодо j -ої РО).

З метою подолання зазначених труднощів ситуаційного керування пропонується гібридний підхід, який включає:

- формування моделі поточної ситуації в реальному часі;
- реалізацію для локального керування ($U_{ij} \in U''_j$) ситуаційного керування реального часу (формування диспетчерського керування шляхом застосування знань до поточної ситуації);
- використання для глобального керування ($U_{ij} \in U'_j$) «швидкого» прогнозування розвитку ситуації шляхом ситуаційного моделювання, яке спирається на оцінку прогнозованих ситуацій за правилами та прийняття керування на основі «хороших» варіантів.

Стосовно до завдання диспетчерського керування деталізація підходу полягає в наступному. У кожен момент прийняття диспетчерського керування:

- за декларативними правилами формується повна модель поточної ситуації;
- за правилами для кожної РО формується локальне керування;
- для кожного кінцевого пункту маршрутів за продукційними правилами переваги маршруту з множини вибирається РО, для якої приймається модельне (пробне) керування ($U_{ij}|1, \mu(U_{ij}) = 1$) – випустити РО на маршрут;
- використовуючи модель повної ситуації, за декларативними правилами формується узагальнена модель ситуації, що відображає вузлові (критичні) ділянки маршрутів;
- за продукційними правилами на основі узагальненої моделі, що відображає нечітку зміну положення РО на різних маршрутах, моделюється розвиток у часі поточної ситуації;
- для кожного кроку модельного часу за правилами перевіряється модельна ситуація на критичних ділянках маршрутів. Якщо при моделюванні РО проходить всі критичні ділянки й при цьому не виникає небажаних ситуацій, то приймається необхідне керування в реальному часі.

З метою економії обчислювальних ресурсів, що є головним чинником для систем реального часу, процедура виконується не для всіх моментів t_j й одночасно розглядаються не всі кінцеві пункти. Моделювання починається з моменту реального часу, коли на кінцевий пункт прибуває чергова РО, а потім на кожному інтервалі реального часу Δ вирішується завдання, поки РО не буде направлена на маршрут. Фактично при такому підході визначається момент часу t_j , коли можна випустити на маршрут РО. Правила, що перевіряють при моделюванні розвиток ситуацій у часі, враховують критерії оцінки якості керування.

Побудова моделі ситуації та декларативних правил подається на прикладі маневрового маршруту. Вихідною інформацією, що надходить від бортового комп'ютера РО, на основі якої будується модель фрагмента ситуації, є: номер контрольної точки; час проходження контрольної точки; номер РО; номер маршруту.

Виділені такі збурюючі фактори: ворожість пересування РО різних маршрутів на виділеній ділянці (загальна ділянка для декількох маршрутів); перетинання декількох маршрутів на виділеній ділянці; напружені умови руху по маршруту (перехрестя зі світлофорами, паралельні пересування РО й інших видів транспорту, що конкурують за проїзну частину, наявність й інтенсивність пішохідних переходів та ін.).

Сформовані нечіткі фрагменти ситуацій, які описують кількість пасажирів на зупинці; технічний стан РО; наповнення рухомої одиниці та інші, а також розроблено модель інтегрованої підсистеми ситуаційного моделювання й керування, що дозволяє врахувати вплив сукупності усіх параметрів зовнішнього середовища на формування швидкості рухомої одиниці, яка рекомендується.

Розроблено моделі організаційного керування на прикладі мережі маневрових маршрутів РО на станції. Використано принципи ситуаційного керування, відповідно до якого кожна ситуація, у якій доводиться приймати управлінське рішення, порівнюється із базою завчасно розглянутих ситуацій. Для такого аналізу запропоновано застосування методів нечіткого висновку. Таким чином, була побудована нечітка модель для задання швидкості окремої рухомої одиниці.

На прикладі конкретної ситуації продемонстровано функціонування побудованої моделі.

Результати розділу відображені в роботах [20,22,29].

У **шостому розділі** розроблено метод адаптивної фільтрації сигналів для побудови завадостійких адаптивних контурів керування РО.

У більшості випадків при функціонуванні КК регульовані величини спостерігаються на фоні завад з характеристиками, що змінюються в широких границях.

Коли в корисному сигналі присутні завади (шуми), то при великих значеннях коефіцієнтів настроювання регуляторів у КК параметрами руху рейкових засобів виникають зміни регульованих величин, які приводять до значного погіршення якості перехідних процесів, а в ряді випадків і до катастрофічних наслідків для об'єктів керування: наприклад, неприпустимі межі зміни тиску, тяги, гальмування, швидкості РО й ін.

Виконано аналіз завад, які виникають при функціонуванні КК засобами рейкового транспорту залізниць. Досліджено вплив на КК: тягових агрегатів локомотивів з відповідними перетворювачами; різних джерел живлення; рейкових кіл (основний та найбільш розповсюджений пристрій залізничної автоматики). Розглянуто завади, які викликаються: опором ізоляції рейкових ліній; опором поїзного шунта; різними електричними завадами; завадами від грозових розрядів; електричною дугою на струмознімачах електровозів; тяговим струмом; перетворенням струму в тяговому ланцюзі локомотивів.

Підтверджено висновок, що частотні складові завад знаходяться у більш високочастотному діапазоні у порівнянні із корисними сигналами, що задають швидкість РО.

Відомі різні методи адаптивної фільтрації, які використовуються у КК. В них необхідно враховувати заздалегідь визначену оцінку вихідного сигналу.

Для одержання оцінки про параметри цього сигналу у вказаних вище методах фільтрації використовувалася попередньо накопичена й оброблена реалізація сигналів, що вимагає значних витрат часу. Така обробка може застосовуватися в системах моделювання й прогнозування, де часові ресурси не обмежені. У реальних умовах роботи РО на маршрутах такого резерву часу немає, тому рішення на керування повинні прийматися в ході самого перехідного процесу роботи пристроїв керування й регулювання, тому використання зазначених методів фільтрації неприйнятно.

Запропонований новий метод не потребує попереднього накопичення інформації.

У ролі критерію оптимальності у дисертації запропоновано критерій, який враховує апріорі невимірювану інформацію про сигнал $S(t)$ та заваду $\zeta(t)$. Таким критерієм оптимальності служить функціонал

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

де λ — постійний ваговий множник, M - математичні очікування.

Цей функціонал характеризує перевищення оцінкою $\frac{1}{3} |y^3(t)|$ потужності вихідного сигналу фільтра над потужністю складової вихідного сигналу, викликаною завадою. Введення $\frac{1}{3} |y^3(t)|$ дозволяє у процесі оптимізації більш ефективно придушувати завадові складові у вихідному сигналі, а при синтезі фільтра на основі диференціювання функціонала враховувати реальні енергетичні співвідношення сигналів $y^2(t)$. Оптимальному фільтру відповідає екстремум (тому що складова $\xi(t)$ повинна прагнути до нуля) цього функціонала.

Параметри настроювання розробленого адаптивного фільтра Δc_{μ_n} та T_{onm} вибирається із співвідношення

$$\Delta c_{\mu_n} = \Delta c_{\mu_{n-1}} + \frac{T_k \sigma_y^2}{T_0(t) \lambda \sigma_{\xi}^2} e^{(t - \mu T_k)} = \Delta c_{\mu_{n-1}} + \frac{T_k}{T_{onm}(t)} e^{(t - \mu T_k)},$$

де $T_0(t)$ – початкова стала часу; σ_y^2 , σ_{ξ}^2 – середньоквадратичне відхилення корисного сигналу та завади.

$$T_{onm}(t) = \frac{T_0(t) \lambda}{\sigma_y^2} \sigma_{\xi}^2 = T_0(t) \lambda \frac{D_e}{D_y},$$

де D_e , D_y – дисперсії похибки завади й корисного сигналу відповідно.

Останній вираз визначає закон зміни коефіцієнта Δc_{μ} настроювання схеми фільтру. Розроблено на основі запропонованого методу фільтрації структурну схему оптимального адаптивного фільтру (рис. 5).

Для визначення дисперсій у цьому фільтрі використовуються формули

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

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

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

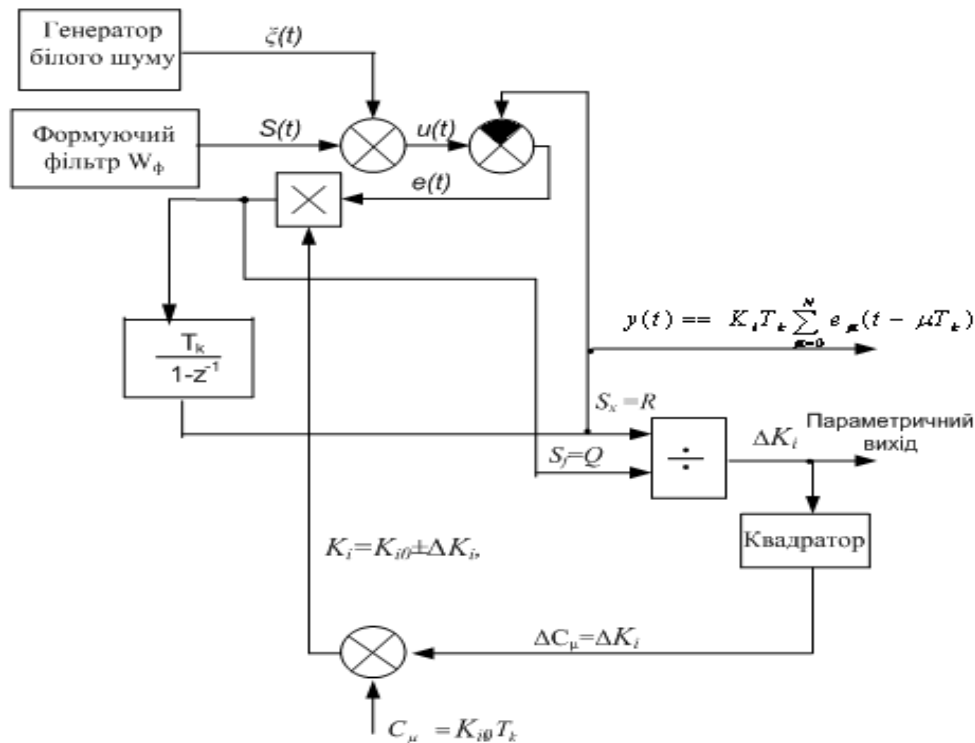


Рис. 5. Структурна схема адаптивного фільтру

На відміну від існуючих фільтрів, які потребують підстроювання багатьох параметрів, запропонований адаптивний фільтр має тільки один параметр настроювання $K_i = f(\sqrt{Q/R})$. За рахунок введеної у дисертації динамічної адаптації з врахуванням поточного обчислення відношення Q/R забезпечується висока якість процесів обробки сигналів. Функціонування фільтра ілюструється рис. 6 та рис. 7.

Фільтр має додатковий параметричний вихід ΔK_i (рис. 5), який використовується при синтезі адаптивних контурів керування РО. В адаптивних КК значення параметра ΔK_i враховується у процедурах обчислення критерію оптимізації та параметрів настроювання контуру.

Результати розділу відображені в роботах [5-7,8,10-13,16-18,23,26,27].

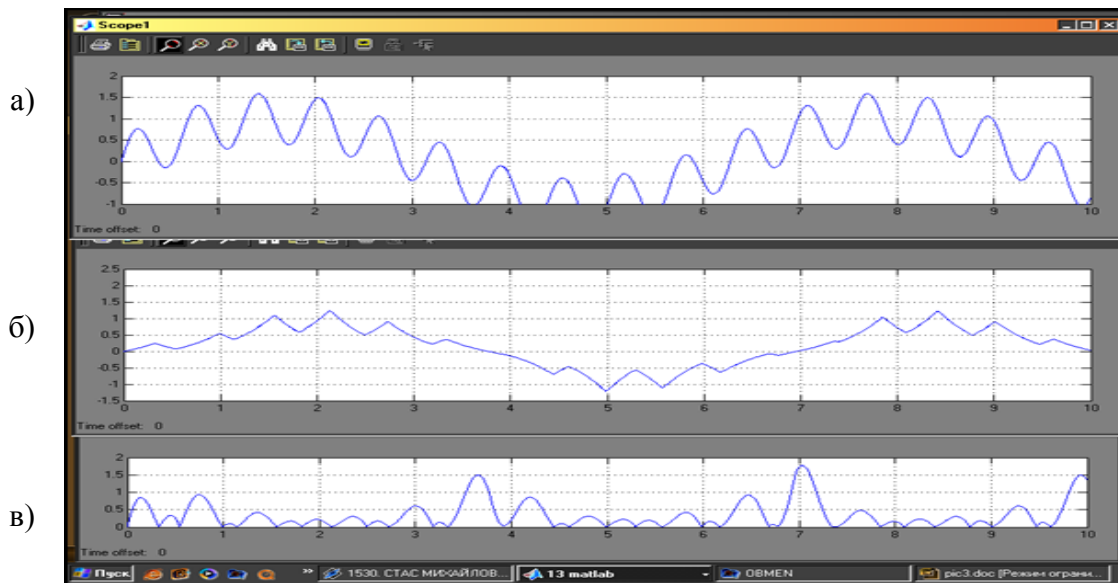


Рис.6.Сигнали , які характеризують роботу адаптивного фільтра:

- а) вхідний сигнал $U(t) = S(t) + \xi(t) = 1 \text{ si}$;
 б) вихідний сигнал фільтра; в) стала часу T_ϕ ; $\omega_{\text{conp}} = 2 \text{ рад/с}$ – смуга пропусення

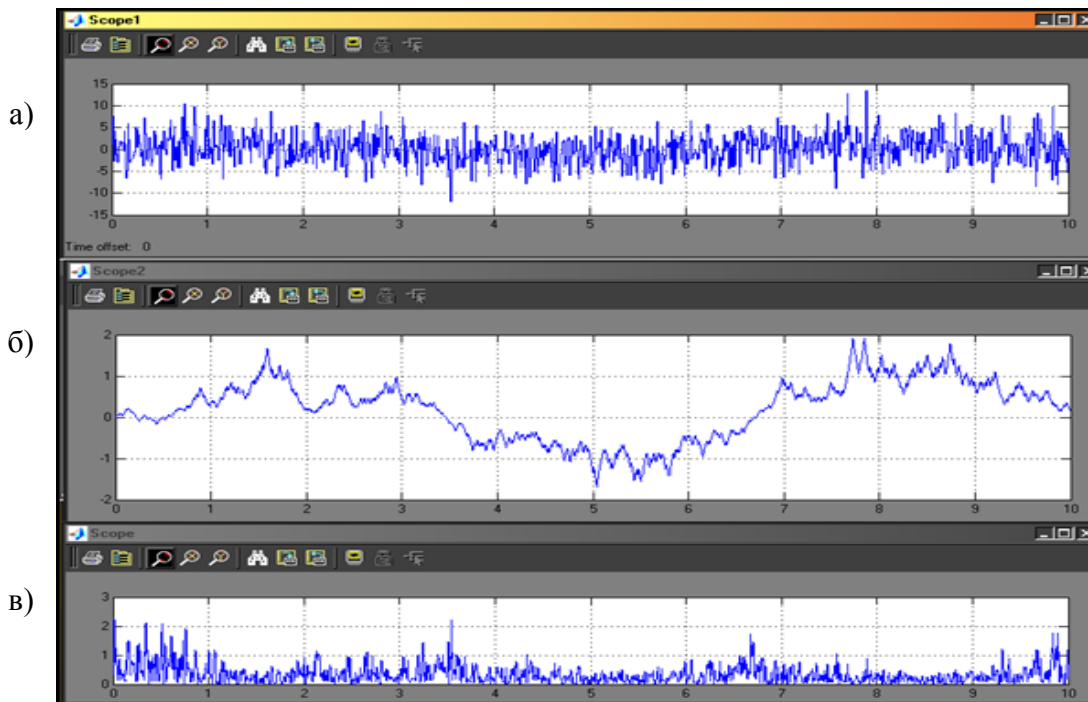


Рис. 7. Сигнали , які характеризують роботу адаптивного фільтра:

- а) суміш корисного сигналу й випадкової завади (параметри завади: кількість видаваних випадкових чисел- 23341, період надання чисел 0,01 с, енергія 0,1); б) вихідний сигнал фільтра; в) стала часу T_ϕ ; $\omega_{\text{conp}} = 10 \text{ рад/с}$ – смуга пропусення

Розділ сьомий присвячений синтезу адаптивних регуляторів для контурів керування рухомими об'єктами, які описуються моделлю з розподіленими параметрами.

В.А. Лазаряном проведене теоретичне дослідження перехідних процесів руху залізничних поїздів, складних механічних транспортних об'єктів без врахування керуючої системи. Ним створена теорія стійкості руху рейкових засобів залізниць. Він довів, що поїзд необхідно розглядати як об'єкт із розподіленими в часі та просторі параметрами. Для дослідження динаміки таких об'єктів Н.С. Жуковським і В.А. Лазаряном запропоновано використати диференціальні рівняння вигляду

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} - a^2 \left[1 + \mu \frac{\partial}{\partial \tau} \right] \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, \tau),$$

де x – лагранжева координата довжини РО; μ – коефіцієнт в'язкості матеріалу; u – переміщення відображуючої точки моделі РО уздовж координати x ; τ – тривалість процесу; $a = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ – швидкість поширення пружної хвилі уздовж РО, ρ – маса одиниці довжини, k – жорсткість; $f(x, \tau)$ – зовнішні збурюючі впливи з відповідними граничними і початковими умовами.

Якщо позначити поздовжню швидкість переміщення відображуючої точки моделі уздовж координати x як $V = \frac{\partial u}{\partial \tau}$, то поведінка такої РО в перехідних режимах (рух РО по рейках, поздовжні й поперечні коливання мас РО, що виникають при їхньому русі) може бути описане в безрозмірній формі одно- або двовимірним рівнянням масопередачі типу Фур'є

$$ds_1 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right] = ds_1 c_p \frac{\partial V}{\partial \tau},$$

де s_1 – площа; x, y – поздовжня й поперечна координати довжини;

λ – коефіцієнт масопровідності матеріалу; c_p – об'ємна масоємність; V – керована величина (швидкість руху маси в точці x РО); τ – тривалість процесу.

До теперішнього часу не вирішені питання синтезу ефективного керування РО з розподіленими параметрами в замкнутому контурі в моменти поточної дії завод різної інтенсивності. У ряді робіт синтез керування таким об'єктом зведений до синтезу регуляторів для окремих підсистем керування поїздом. При цьому використовуються моделі РО із зосередженими параметрами (наприклад, керування енергетичною установкою тепловозів, тяговими двигунами, генераторами власних потреб та ін.). В розділі розроблено заводо захищені КК для РО з урахуванням розподіленої маси поїзда, які враховують поточні завади.

Передатні функції моделей РО з розподіленими параметрами можуть містити оператори (іраціональні ланки) вигляду:

$$W(x, s) = \exp(-x\sqrt{s}); \quad W(x, s) = (x\sqrt{s})^{-1};$$

$$W(x, s) = \left(1 + \frac{x}{n} \sqrt{s} \right)^{-n}; \quad W(x, s) = (1 + x\sqrt{s})^{-n}; \quad W(x, s) = k\sqrt{s},$$

де s – оператор Лапласа, x – координата (для одновимірного випадку) моделі РО.

Показано, якщо керована РО описується передатною функцією, яка має у своєму складі ірраціональні ланки, то оптимізувати перехідний процес у замкнутому КК буде регулятор, що має у своїй структурі пропорційні, півдиференціальні, півінтегральні, півінерційні та інші ірраціональні ланки. Отже, якщо об'єкт описується, наприклад, півінерційною ланкою (при $q = \sqrt{s}$), то оптимізувати процес у замкнутому контурі буде пропорційно – півінтегральний регулятор

$$W(q) = K_{IT} + \frac{K_I}{q}$$

Розглянуто модель об'єкту із передатною функцією, яка складається з послідовно з'єднаних півінерційної та аперіодичної ланок (відповідає моделі з розподіленими параметрами)

$$W_{01}(x, s) = \frac{k_0(x) e^{-x\sqrt{s}}}{b_0(x) s + 1}$$

та модель об'єкту із передатною функцією, яка складається з послідовно з'єднаних ланки із чистим запізнюванням та аналогічної аперіодичної ланки (відповідає моделі з еквівалентним запізнюванням)

$$W_{02}(x, s) = \frac{k_0(x) e^{-\tau(x,s)s}}{b_0(x) s + 1}$$

Доведено, що умова рівності передатних функцій $W_{01}(s) = W_{02}(s)$ виконується, якщо

$$\tau(x, s) = \frac{x}{\sqrt{s}}$$

Оригінал цього виразу такий

$$\tau(x, t) = \frac{x}{\sqrt{\pi t}}$$

Для визначення величини запізнювання $\tau(x, t)$ в розділі побудовано графіки з координатами $y_1(t) = t$ та $\tau(x, t) = \frac{x}{\sqrt{\pi t}}$, з яких отримано значення еквівалентного запізнювання $\tau(x)$ моделі РО у вигляді

$$\tau(x) = [\tau(x, t)^2 t]^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Розрахунки показують, що модель із еквівалентним запізнюванням відрізняється від моделей В.А. Лазаряна у часткових похідних (ірраціональна передатна функція) не більше ніж на 10 %.

Таким чином, модель РО, описувану рівняннями в частинних похідних, можна замінити звичайним диференціальним рівнянням з еквівалентним сталим (для даної координати x) запізнюванням. Це дозволяє спростити математичні моделі РО (замінити сіткову модель великої розмірності одним рівнянням) і застосувати для синтезу регуляторів для КК рейковими засобами аналітичні методи, розроблені для об'єктів зі сталим часом запізнювання.

Отримано прості алгебраїчні вирази для автопідстроювання параметрів регуляторів у залежності від врахування поточного відношення рівнів сигналу R до завади Q , змінюваних у часі параметрів моделі РО (коефіцієнт передачі, еквівалентне запізнювання), що на відміну від відомих методів дає можливість реалізувати динамічну адаптацію параметрів регуляторів. *Динамічна адаптація* надає змогу розширити діапазон працездатності КК при змінюванні

запізнювання в широких межах та значно збільшує швидкодію процесу адаптації КК і забезпечує близьку до оптимальних якостей перехідних процесів також при зміні інших параметрів у широких межах. Використано критерій максимального ступеня стійкості (КМСС).

Проведено синтез пропорційно-півінтегрального регулятора для замкнутого КК, який містить адаптивний фільтр із оптимальною сталою часу. Для керування РО запропоновані аналогові варіанти реалізації півінтегрального регулятора та пропорційно-півінтегрально-півдифференціального регулятора на аналогових операційних підсилювачах та RC -елементах.

Отримані в розділах 6 та 7 результати дають змогу будувати аналогові та цифрові регулятори, які забезпечать високу якість функціонування адаптивних контурів керування РО.

Результати розділу відображені в роботах [15,25].

У **восьмому розділі** виконано синтез та дослідження КК рейковими засобами залізниць, моделі яких містять еквівалентне запізнювання, одержане в сьомому розділі. З огляду на широке використання при побудові КК ПІ та ПІД-регуляторів, а також на їх високі динамічні властивості, синтез виконано з використанням цих законів регулювання. Синтезований КК має структуру, показану на рис. 8. Сукупність вхідних сигналів формується базою даних 1. Ці сигнали обробляються адаптивним фільтром 2, стала часу якого визначається блоком настроювання фільтра 7. Сигнал з виходу фільтра 2 подається на адаптивний регулятор 3 з блоком настроювання регулятора 8. Останній використовує сигнали з бази даних та сигналів 1, а також з моделі РО, яка містить еквівалентне запізнювання 5 та інерційну ланку 6. Передбачено формування різних збурень. Зворотний зв'язок організовано за сигналом швидкості, який знімається з точки поточної координати x .

При дослідженнях модель рухомої одиниці подавалася у двох формах

$$W_0(s) = \frac{K_H e^{-\tau(x)s}}{T_{1H}s+1} = \frac{K_H e^{-\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} s}}{T_{1H}s+1},$$

де T_{1H} – домінуюча стала часу; $\tau(x) = \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$ – еквівалентний час запізнювання;

x – відносна координати довжини поїзда у моделі РО; K_H – статичний коефіцієнт передачі;

$$W_0(s) = \frac{K_H}{(T_H s + 1)^{m(x)}} \quad (T_H - \text{стала часу, } m(x) - \text{порядок моделі}).$$

Можливість використання вказаних моделей витікає з граничного переходу

$$\lim_{m(x) \rightarrow \infty} \frac{K_H}{(T_H s + 1)^{m(x)}} = \lim_{m(x) \rightarrow \infty} \frac{K_H}{\left(\frac{\tau(x)}{m(x)} s + 1\right)^{m(x)}} = K_H e^{-\tau(x)s}$$

В розділі отримані вирази для оптимальних значень параметрів настроювання різних регуляторів ПІ, ПІІ, ПІД, ПІІД, ПІІІД на основі критерію максимального ступеня стійкості

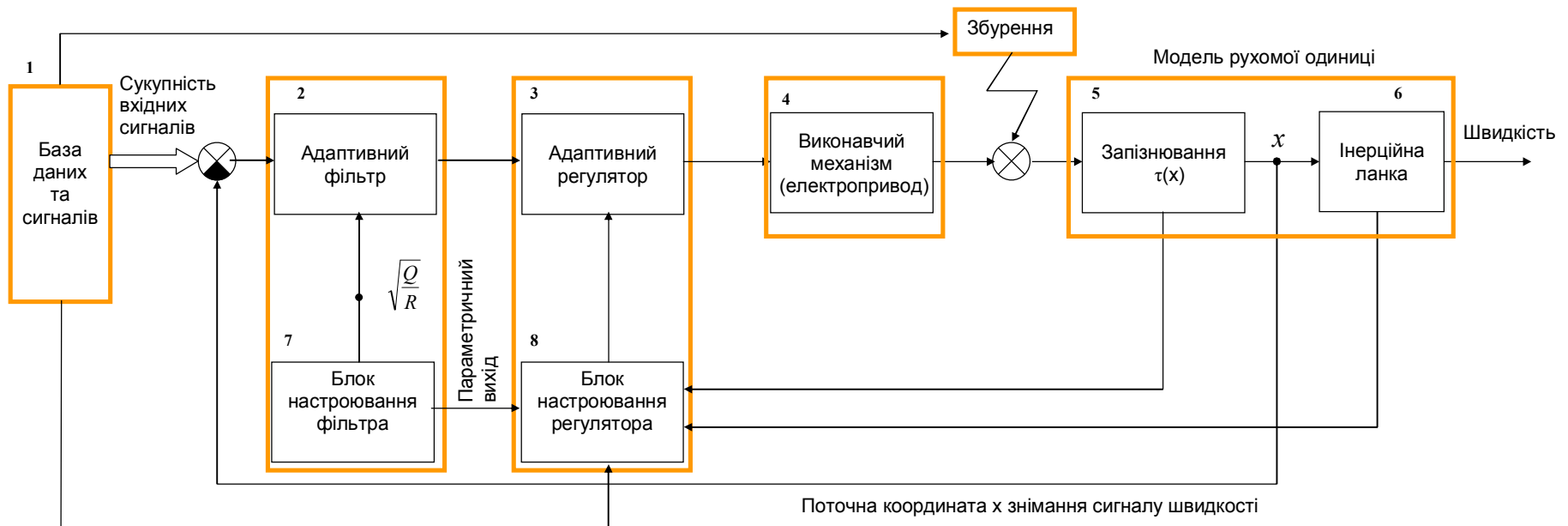


Рис. 8. Структура адаптивного контуру керування рухомих об'єктом.

Сигнали бази даних: *Корисний сигнал*: східчастий сигнал задання швидкості $1(t)$; період 5, 10 у.о.; синусоїдальний сигнал задання швидкості. *Завади*: синусоїдальний сигнал $A\sin\omega t$, $\omega=10-1000$ рад/у.о.; випадковий сигнал: потужність 0.001, період 0.01 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел (seed) 23341. *Збурення*: випрямлений синусоїдальний сигнал, період 5 у.о.; випадковий сигнал: амплітуда 0.02, період формування 0.1 у.о., початкове значення генератора випадкових чисел (seed) 23341. Параметри настроювання контуру керування: запізнювання τ , $\tau=0,01 - 0,25$ у.о.; коефіцієнти підсилення 0 – 100; діапазон зміни k_{II} 0.01 – 20; діапазон зміни k_{II} 0.01 – 20; сталі часу 0.01-1 у.о.; частота сполучення фільтра $\omega_{comp} = 1-50$ рад/у.о.

$$J = -\max_{i=1, \infty} \min \operatorname{Re} s_i (s_i - \text{корені характеристичного рівняння замкнутого$$

КК).

Так для КК з ПІ-регулятором та моделями $W_{01}(s)$ або $W_{02}(s)$ маємо

$$J_{\text{ПИ}} = \frac{2}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}} + \frac{1}{2T_{\text{опт}}} - \left\{ \frac{1}{\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}} + \frac{1}{4T_{\text{опт}}} \right\}^{\frac{1}{2}},$$

$$k_{\text{ПІопт}} = \frac{1}{k_{\phi}} \left[\left[\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} + 2T_{\text{опт}} \right] J_{\text{ПИ}} - \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} T_{\text{опт}} J_{\text{ПИ}}^2 - 1 \right] e^{-\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} J_{\text{ПИ}}},$$

$$k_{\text{Іопт}} = \frac{1}{k_{\phi}} \left[\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} + T_{\text{опт}} - \left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} T_{\text{опт}} J_{\text{ПИ}} \right] J_{\text{ПИ}}^2 e^{-\left(\frac{x^2}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} J_{\text{ПИ}}},$$

Для дослідження динамічних властивостей контурів керування швидкістю РО розроблено Matlab-модель універсального КК (рис. 9). Обчислення сталої часу фільтра $T_{\text{опт}}$, критерію КМСС та параметрів настроювання регулятора виконуються відповідними блоками у режимі *динамічної адаптації* у кожний поточний момент часу.

При дослідженні динамічних властивостей КК використаний ПІ-регулятор, у припущенні, що параметри об'єкта керування, фільтра й оцінки характеристик випадкових корисних сигналів і завад у процесі експлуатації змінюються в широких границях. На вхід КК подається адитивна сукупність корисного сигналу та завади $\zeta(t)$

У ролі задаючого сигналу обрано прямокутний сигнал з одиничною амплітудою і періодом 10 умовних (машинних) одиниць, а у ролі сигналу завади (не обмежуючи загальності) – синусоїду з більш високою частотою в порівнянні з корисним сигналом або випадковий збурюючий сигнал.

Аналіз графіків перехідних процесів, отриманих при моделюванні, показав наступне.

Після одноразового оптимального вибору параметрів настроювання контури з адаптацією та без неї забезпечують високу якість процесів керування. Однак зміна коефіцієнта передачі об'єкта керування з 1 до 10 призводить до нестійкої роботи контуру керування без адаптації – контур перестає нормально функціонувати. КК з адаптацією забезпечує ту ж саму якість процесу керування за рахунок динамічної адаптації параметрів настроювання.

При зміні запізнювання з 0,01 до 1 у.о. контур без адаптації не забезпечує необхідну якість процесу керування, а контур з адаптацією компенсує зміну запізнювання, забезпечуючи потрібну якість процесу керування.

На рис.10 та рис. 11 показано приклад процесів у контурах керування при наявності випадкових завад у вхідних сигналах. Контур без адаптації не може забезпечити необхідну якість процесів.

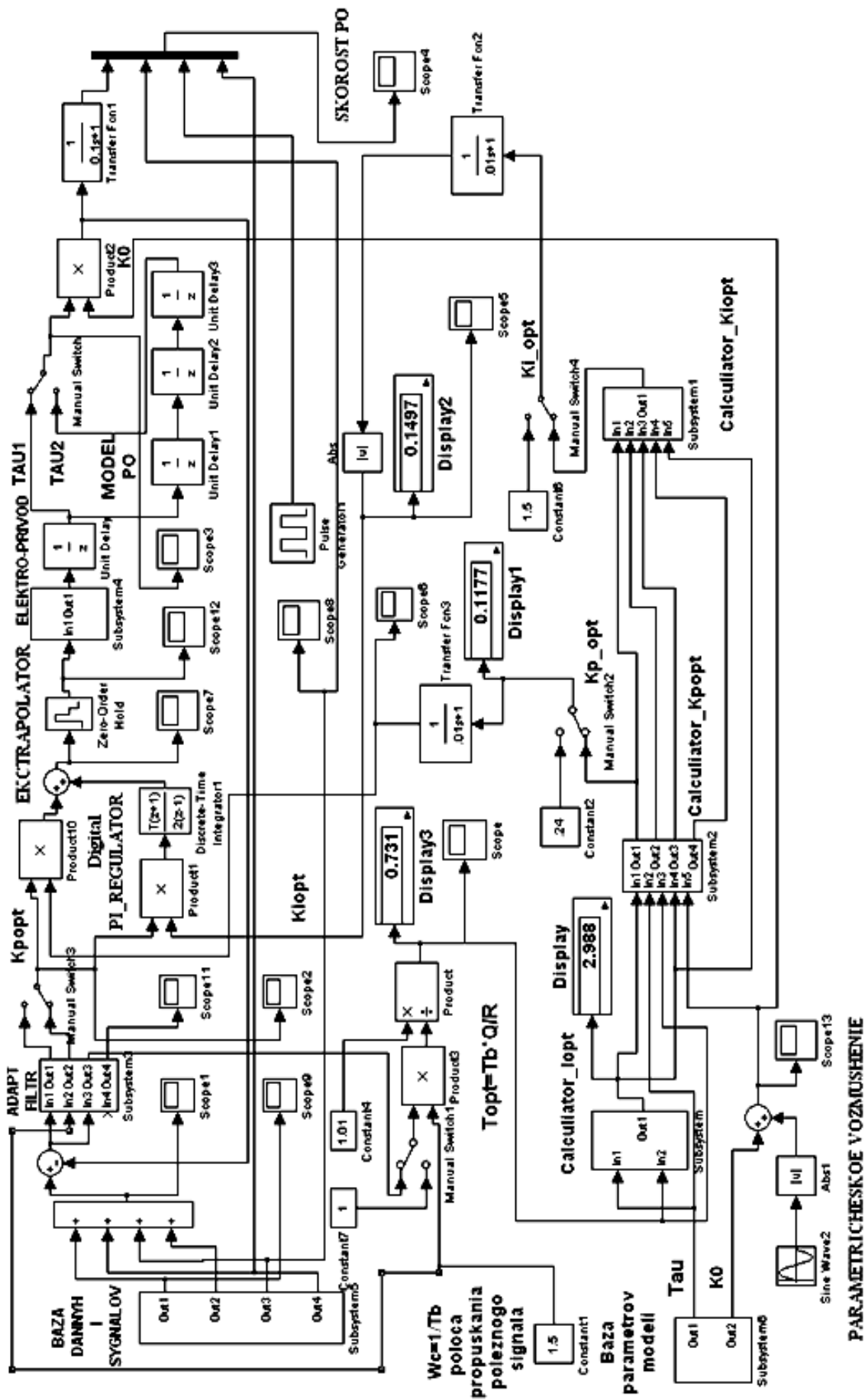


Рис. 9. Універсальна Matlab-модель адаптивного КК

PARAMETRICESKOE VOZMUSHENIE

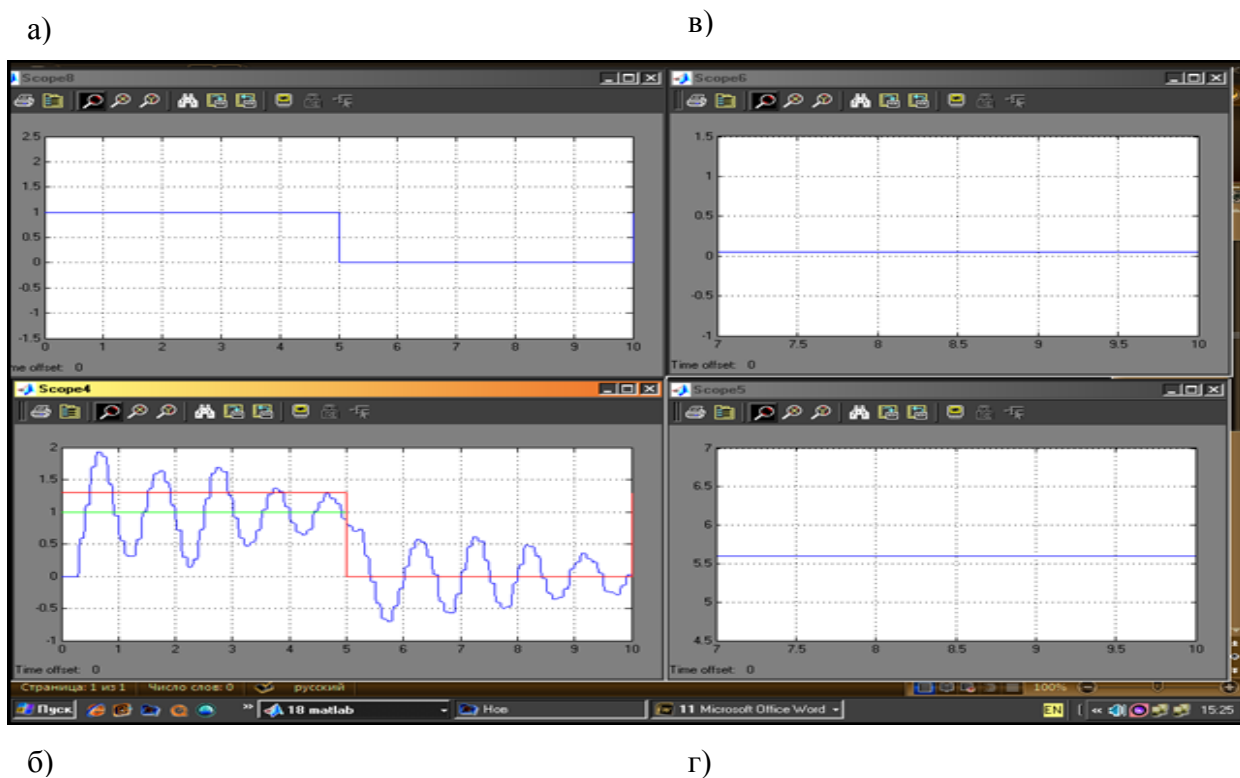


Рис. 10. Сигнали у КК без адаптації: а) вхідний східчастий сигнал $1(t)$, період 10 у.о.; б) вихідний сигнал КК; в) $k_{II}(t)$; г) $k_{II}(t)$; $\zeta(t)$ - випадкова завада з параметрами: потужність 0.001, період 0.01, початкове значення сигналу 23341; $\omega_{comp}=50$ рад/у.о.; $\tau=0.25$ у.о.; $K_0=1$

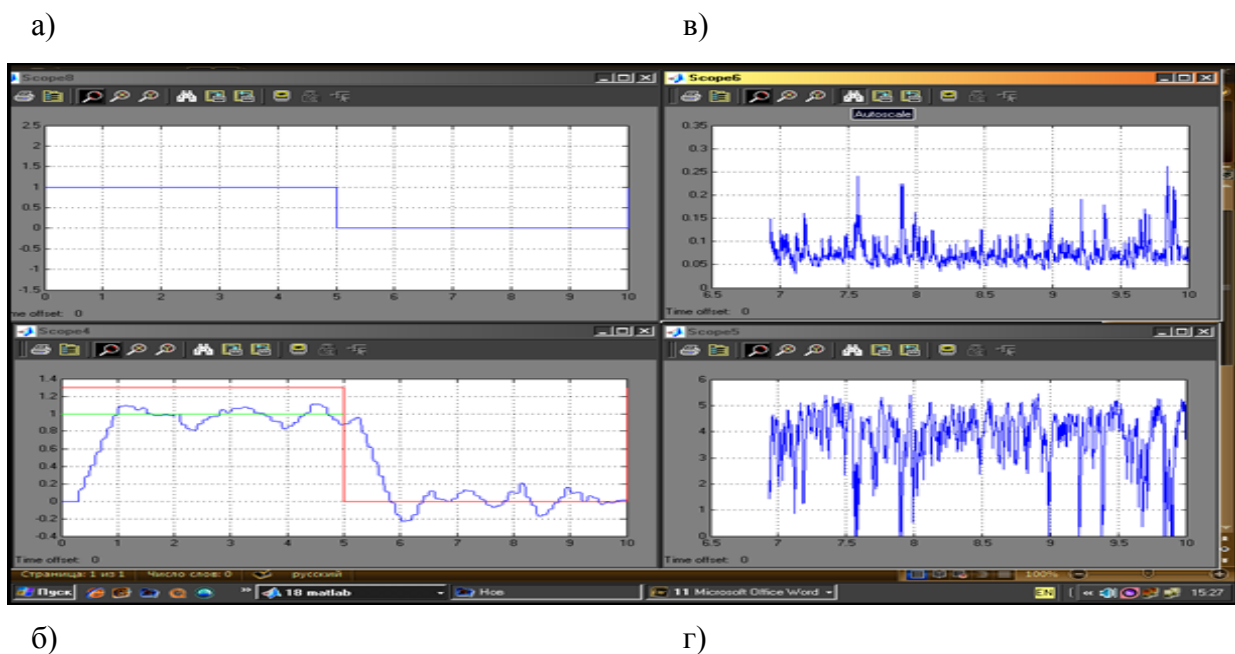


Рис. 11. Сигнали у КК з адаптацією: а) вхідний східчастий сигнал $1(t)$, період 10 у.о.; б) вихідний сигнал КК; в) $k_{II}(t)$; г) $k_{II}(t)$; $\zeta(t)$ - випадкова завада з параметрами: потужність 0.001, період 0.01, початкове значення сигналу 23341; $\omega_{comp}=50$ рад/у.о.; $\tau=0.25$ у.о.; $K_0=1$

На рис. 12, рис. 13 показані результати дослідження КК при наявності збурень з врахуванням інерційної ланки РО. При змінюванні параметрів об'єкту, завод та збурень у широких границях контури керування реалізують однакові аперіодичні процеси зміни швидкості. На цих рисунках показаний характер процесів зміни швидкості при різних параметричних збуреннях, як видно, характер процесів аперіодичний.

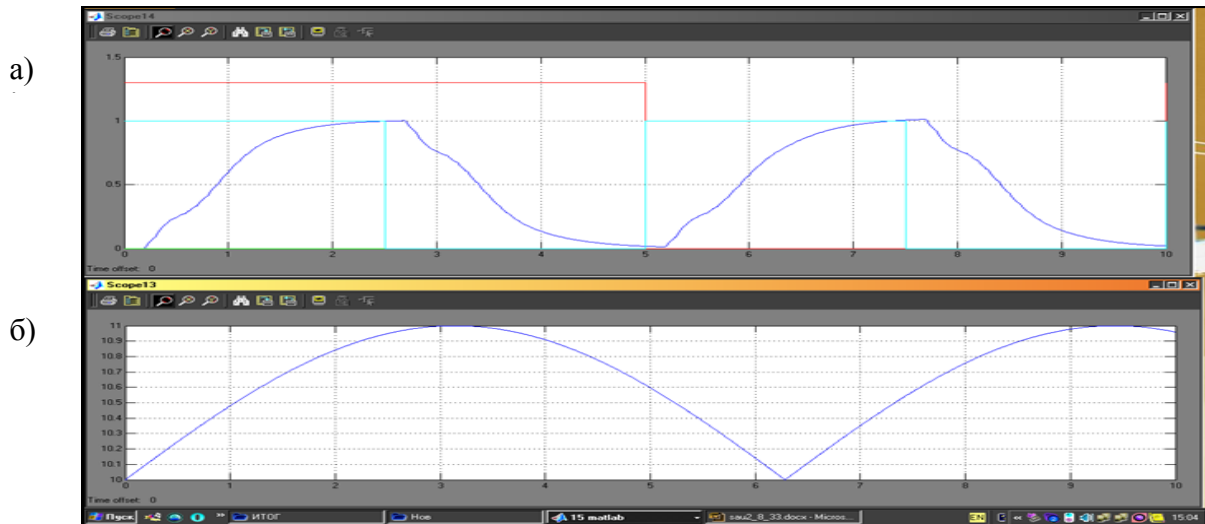


Рис. 12. Сигнали у КК з адаптацією: а) вхідний та вихідний сигнали; б) сигнал збурення $1 \sin 0.5t$; базові параметри настроювання: вхідний східчастий сигнал $1(t)$, період 5 у.о.; початкова частота сполучення адаптивного фільтра $\omega_{comp}=1.5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкту $\tau=0.25$ у.о.; $\text{Tau}=0.25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкту $K_0=10$

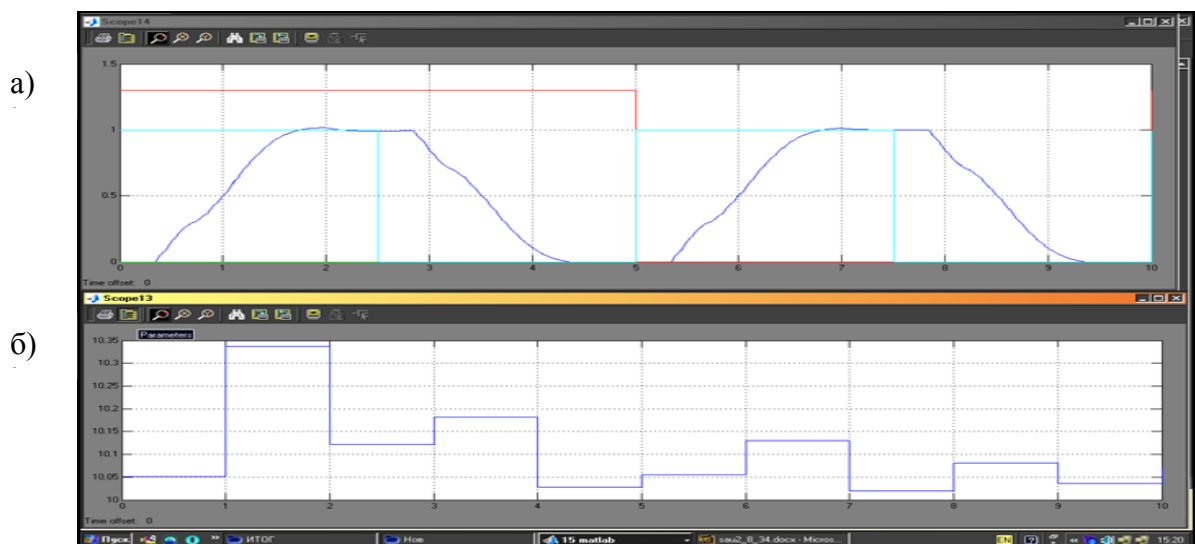


Рис. 13. Сигнали у КК з адаптацією: а) вхідний та вихідний сигнали; б) сигнал збурення випадковий: амплітуда 0.02, період формування 0.1, seed 23341; базові параметри настроювання моделі: вхідний східчастий сигнал $1(t)$, період 5 у.о.; початкова частота сполучення адаптивного фільтра $\omega_{comp}=1.5$ рад/ у.о.; запізнювання об'єкту $\tau=0.25$ у.о.; $\text{Tau}=0.25$ у.о.; коефіцієнт передачі об'єкту $K_0=10$

Виконані в розділі дослідження підтвердили високі динамічні властивості КК з динамічною адаптацією, вони використані для побудови АРМ, який дозволяє проектувати перспективні контури керування рейковими засобами залізниць в умовах необхідного зростання швидкості перевезень.

Результати розділу відображені в роботах [2,3,15,19,28,35].

У **додатках** містяться приклади використання розроблених в дисертації методів та акти впровадження.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-прикладну проблему розроблення і обґрунтування перспективної концепції синтезу систем автоматизованого керування засобами рейкового транспорту залізниць (СК РТ) на основі теоретичного розвитку та узагальнення моделей та методів для забезпечення автоматизованого ведення графіка руху поїздів.

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Аналіз існуючих автоматизованих систем керування засобами рейкового транспорту показав, що їм притаманні суттєві недоліки - не враховуються нечіткі ситуації, характерні при керуванні параметрами рухомих одиниць; не формуються завдання для підтримання раціональної швидкості рухомих одиниць; моделі РО не адекватні їх розподіленому характеру; не використовуються методи адаптації при побудові контурів керування РО. Обмежені можливості диспетчерів та машиністів РО при збільшенні кількості зовнішніх факторів (в тому числі при необхідності зростання швидкості) не дозволяють їм приймати у реальному часі оперативні керуючі дії, що потребує розширення функціональних можливостей систем керування засобами рейкового транспорту.

2. Вперше на основі обґрунтованих критеріїв оптимізації, розроблених моделей та методів побудови ієрархічних рівнів системи сформовано основні положення перспективної концепції побудови автоматизованих систем керування засобами рейкового транспорту. Це дасть можливість в умовах необхідного підвищення швидкості РО за рахунок моделювання ситуацій спростити процедуру прийняття керуючих дій, що підвищить безпеку експлуатації рейкових засобів залізниць.

3. На основі системного підходу розроблено вимоги до моделей підсистем середнього (диспетчерського) та нижнього рівнів керування РО. Показано, що при побудові СК РТ необхідно удосконалення організаційно-диспетчерського управління та керування РО як об'єктами з розподіленими параметрами. Це надає змогу формувати дані про кількість необхідних рейкових засобів залізниць та їх швидкість в залежності від поточних ситуацій та значно скорочує час вироблення керуючих дій для контурів керування РО у нечітких ситуаціях, що дозволить підвищити стабільність графіка руху, наприклад, пасажирських перевезень з 92 до 95 %.

4. Удосконалено критерії оптимізації:

- при моделюванні підсистеми середнього рівня на основі графових структур обрано критерії: комплексної оцінки необхідних апаратних та програмних засобів; оперативності формування керуючих дій з обґрунтуванням впевненості прийняття рішень в залежності від результатів моделювання, при цьому у ролі узагальненого показника оперативності використано ймовірність розв'язання задачі моделювання на заданому інтервалі часу;

- для вибору параметрів настроювання КК швидкістю РО на нижньому рівні запропоновано використовувати критерій максимального ступеня стійкості, що дає змогу отримати інженерні співвідношення, які являють собою алгебраїчні вирази з однозначним зв'язком параметрів настроювання регуляторів і параметрів моделі. Отримані та обґрунтовані аналітичні залежності параметрів настроювання адаптивних фільтрів та регуляторів контурів керування рухомими одиницями на нижньому рівні СК РТ, які на відміну від відомих залежностей враховують зміну поточних значень сигналів та завад і дозволяють реалізувати нові процедури динамічної адаптації; при цьому доведено, що РО як об'єкт керування з розподіленими параметрами може бути описаний лінійною динамічною ланкою із еквівалентним запізнюванням. Це дозволяє більш достовірно проводити облік динамічних властивостей поїздів як об'єктів керування, покращити якість функціонування контурів керування, та, як наслідок, за рахунок підвищення стабільності підтримання графіка руху зменшити кількість непередбачуваних зупинок, нераціональних затримок поїздів всіх категорій на дільницях залізниць.

5. Вперше запропоновані такі нові розширення чітких та нечітких мереж Петрі: розширення чітких мереж Петрі, яке полягає в доповненні відомих елементів мереж новими елементами – квазідвонаправленими дугами і їхніми з'єднаннями, введення яких збільшує мовні можливості зображення графів, особливо при побудові моделей, які відтворюють маневрові пересування, при цьому скорочується складність моделей у діапазоні 15 – 50 %; для надання чітким мережам Петрі динамічних властивостей в переході на відміну від відомих мереж введено затримку міток у часі на будь-яке число тактів моделювання, що дає можливість досліджувати динаміку функціонування мереж у реальному часі з використанням методів аналізу та синтезу динамічних систем; для нечітких мереж Петрі введені такі нові розширення функціональних переходів: імплікаційний перехід – відношення «якщо - то»; переходи, які реалізують операції композиції нечітких множин та відношень множин, фазифікації вхідних змінних для їх агрегування; дефазифікації вихідних змінних для активізації підзаклучень.

На основі вказаних розширень створено універсальну графову модель диспетчерських підсистем керування параметрами РО, яка враховує нечіткі умови та дає змогу досліджувати процедури формування керуючих дій на контури керування РО (задання швидкості руху з метою автоматизованого ведення графіка) і дозволяє скоротити час вироблення керуючих дій до 2 разів.

6. Запропоновано організацію декларативної бази знань ситуаційної підсистеми диспетчерського керування рухом рейкових засобів залізниць на основі сукупності продукційних правил оцінки поточних ситуацій, правил

оцінки та формування узагальненої модельної ситуації, правил формування керування. Розроблено нову концепцію організації підсистем ситуаційного диспетчерського керування і формування керуючих дій, виконано структурування підсистем, сформовано фрагменти ситуацій.

7. Обґрунтовано метод формального опису руху окремих рухомих одиниць на основі локальних моделей та сукупності рухомих одиниць на основі глобальної моделі. Запропоновано моделі маршрутів, які функціонують у реальному часі. Моделі побудовані із використанням мереж Петрі, операторів зсуву Z^{-1} , Z - перетворення та враховують динаміку руху, при цьому враховується розміщення РО на маршрутній мережі, зміна відстані і вікон між РО, а також розподіл РО на окремих маршрутах в дискретні моменти часу.

8. Вперше розроблено метод адаптивної фільтрації сигналів, які обробляються в КК швидкістю, на основі визначення поточних оцінок характеристик сигналів та завад (рівня R корисного сигналу та рівня Q завади). На відміну від класичних методів не потребується накопичення інформації про статистичні характеристики сигналу та завад. Шляхом поточного обчислення відношення рівнів завада/сигнал цей метод дозволяє у режимі динамічної адаптації неперервно підстроювати основний параметр – сталу часу та сформувати параметричний сигнал, пропорційний відношенню Q/R , для настроювання параметрів адаптивного контуру керування.

Удосконалено критерій оптимізації, що характеризує перевищення оцінкою $\frac{1}{3}|y^3(t)|$ потужності вихідного сигналу фільтра потужності складової вихідного сигналу, викликаного завадою. Це дозволяє більш ефективно придушувати завадові складові у вихідному сигналі.

Синтезований на основі цього методу адаптивний фільтр підвищує коефіцієнт приглушення завад у 70 – 100 разів (до 40 дБ) при діапазоні динамічної адаптації сталої часу фільтра 0,01 – 10 с, що покращує динамічні характеристики КК швидкістю.

9. Обґрунтовано модель РО, яка відображує реальні процеси в поїзді з врахуванням запізнювання за довжиною поїзда, яке залежить не тільки від точки (координати), що визначає процес формування й передачі сигналів керування, але й від часу. Доведено умови, при яких модель РО, описувану рівняннями в частинних похідних, можна замінити звичайним диференціальним рівнянням з еквівалентним постійним (для даної координати x) запізнюванням. Це дозволило спростити математичну модель РО (замінити сіткову модель великої розмірності одним рівнянням) та застосувати до синтезу регуляторів для КК відомі аналітичні методи. Доведено адекватність моделі з запізнюванням моделі у часткових похідних.

10. Отримано прості алгебраїчні вирази для автопідстроювання параметрів КК швидкістю в залежності від поточного відношення Q/R та

змінюваних у часі параметрів моделі РО (коефіцієнт передачі, еквівалентне запізнювання), що на відміну від відомих методів забезпечує динамічну адаптацію параметрів регуляторів. Динамічна адаптація надає змогу розширити діапазон працездатності КК при змінюванні запізнювання в широких межах від 0,01 до 1 у.о. (до 25% від сталої часу моделі РО), що значно збільшує швидкодію процесу адаптації КК і забезпечує близьку до оптимальних якостей перехідних процесів при зміні параметрів у широких межах.

11. Для контурів керування швидкістю РО, які містять адаптивні фільтри та адаптивні регулятори, розроблено процедури синтезу їх параметрів на основі введеної динамічної адаптації.

Вперше розроблено універсальну модель адаптивного заводостійкого КК, який функціонує у режимі динамічної адаптації. Проведено дослідження динаміки процесів, яке підтвердило отримані теоретичні положення щодо якості процесів керування РО. Показано, що використання критерію максимального ступеня стійкості забезпечує отримання однакових, близьких до аперіодичних, процесів при зміні характеристик завод та параметрів РО у широких межах. Це дасть змогу при реалізації перспективних КК швидкістю засобів рейкового транспорту залізниць підвищити дільничну швидкість поїздів. При збільшенні цієї швидкості на 10%, наприклад на напрямку Куп'янськ - Одеса, може бути скорочено парк локомотивів та вагонів на 3 - 4 % від існуючого на напрямку загального парку вагонів та локомотивів.

12. Отримані наукові та практичні результати впроваджені на залізницях України та в навчальний процес, що підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

1. Панченко С. В. Особливості та напрямки удосконалення мікроелектронних закордонних систем автоблокування на дільницях залізниць / С. В. Панченко, Н.Г. Панченко, М.І. Данько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №1. – С. 3-8.
2. Панченко С. В. Застосування електромагнітних параметричних пристроїв в мережах живлення мікропроцесорних систем управління / С. В. Панченко, Н.Г. Панченко// Зб. наук. пр.: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: КУЕТТ. – 2004. – Вип. 6. – С. 111-117.
3. Панченко С. В. До питання надійного забезпечення електроживленням мікропроцесорно-релейних систем управління залізничного транспорту / С.В. Панченко, Н.Г. Панченко// Зб. наук. пр. -Х.: УкрДАЗТ. – 2004. – Вип. 57.- С. 103-109.

4. Панченко С. В. К вопросу оптимизации обслуживания сложных систем управления/ С.В. Панченко, Н.Г. Панченко// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №3. – С. 37-39.
5. Панченко С. В. Методы определения оценок параметров случайных величин / С.В. Панченко, Н.Г. Панченко// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №6. – С. 63-67.
6. Панченко С. В. Анализ методов контроля состояния рельсовых линий / С.В. Панченко, Н.Г. Панченко// Вісник НТУ «ХПІ»: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2005. – №7. – С. 130-136.
7. Панченко С. В. До питання вдосконалення методів контролю стану рейкових ліній / С.В. Панченко, Н.Г. Панченко// Вісник НТУ «ХПІ»: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2005.–№17.–С.77-82.
8. Панченко С. В. Застосування теорії розпізнавання образів для визначення стану колійних ділянок / С.В. Панченко// Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ. – 2005. – Вип.. 71. – С. 108-116.
9. Панченко С.В. Доказательство существования функционального перехода в расширенных сетях Петри / С.В. Панченко, А. А. Мелихов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №1,2. – С. 84-91.
10. Панченко С. В. К вопросу определения параметров негауссовых случайных величин / С.В. Панченко, Н. Г. Панченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №3. – С. 36-38.
11. Панченко С. В. Использование метода максимизации полинома для более точного определения параметров информационных признаков сигналов / С.В. Панченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №6. – С. 85-88.
12. Панченко С.В. Спосіб контролю вільного стану рейкової лінії / С.В. Панченко, К.А. Трубочанінова, Ю.М. Панченко, В.І. Моїсєєнко// Патент на винахід UA 75979 B61L23/00. – Бюл. №6, 15.06.2006.
13. Панченко С. В. Спосіб контролю вільного стану рейкової лінії / С.В. Панченко, К.А. Трубочанінова, Ю.М. Панченко// Патент на винахід UA 76186 B61L23/00.- Бюл. №7, 17.07.2006.
14. Панченко С.В. Методи моделювання систем управління процесами перевезень. Частина 1. Агрегативні системи Мережі Петрі / С.В. Панченко, С.Л. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №4. – С. 69-73.
15. Панченко С.В. Моделирование адаптивных дискретных систем. Оптимизация параметров управляющих импульсных последовательностей нечетких регуляторов / С.В. Панченко, В.Б. Сытник, С.И. Яцко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №5,6. – С. 52-62.
16. Панченко С.В. Анализ факторов, оказывающих воздействия на микропроцессорные путевые приемники бесстыковых рельсовых цепей / С.В. Панченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №2. – С. 22-25.

17. Панченко С. В. Принцип диагностирования микропроцессорных рельсовых цепей / С.В. Панченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №1. – С. 61-65.
18. Панченко С. В. Анализ помех, создаваемых электроподвижным составом в рельсовых линиях / С.В. Панченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №3. – С. 46-50.
19. Панченко С.В. Методи керування об'єктами забезпечення транспортної діяльності на залізничному транспорті (Огляд). Частина 1. Керування виконавчими пристроями / Ф. О. Демченко, С. В. Панченко // Зб. наук.пр. – Донецьк: ДонІЗТ.-2007.-№11.-С.42-53.
20. Панченко С. В. Модель ситуаційної системи керування гальмовою позицією на спускній частині гірки в середовищі MATLAB 6.5 / С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, К.О. Запара// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №2. – С. 56-62.
21. Панченко С.В. Алгебра сетей Петри. Часть 1. Расширение – квазидвунаправленность для моделирования динамических ситуаций передачи ресурса (меток) / Г. И. Загарий, С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – №2. – С. 76-83.
22. Панченко С. В. К построению квазидвунаправленных сетей Петри / С. В. Панченко // Зб. наук. пр. – Донецьк: ДонІЗТ. – 2008. – №14. –С. 90-101.
23. Панченко С. В. Аналіз методів обробки сигналів колійними приймачами в рейкових колах, необмежених ізолюючими стиками/ С.В. Панченко, А.О. Літвінов, В.М. Бутенко // Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ. – 2008. – Вип. 92. – С. 124-127.
24. Панченко С.В. Критерій якості ухвалення рішення по керуванню в складній ієрархічній системі / Г. І. Загарій, С. В. Панченко, Б. Т. Ситнік, В. А. Бриксін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №3. – С. 54-58.
25. Панченко С.В. Синтез адаптивных помехозащищенных регуляторов для подвижных объектов с распределенными параметрами и запаздыванием / Г. И. Загарий, С. В. Панченко, Б. Т. Ситнік, В. А. Бриксін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №5. – С. 44-55.
26. Панченко С.В. Розробка методу адаптивної фільтрації сигналів для пристроїв керування рухомими одиницями / Г. І. Загарій, С. В. Панченко, Б. Т. Ситнік, В. А. Бриксін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №6. – С. 33-38.
27. Панченко С.В. Адаптивна фільтрація сигналів в системах вимірювання та управління / Г. І. Загарій, С. В. Панченко, Б. Т. Ситнік, В. А. Бриксін // Вісник Донецького національного університету: Природничі науки. – 2009. – №1. – С. 496-500.
28. Панченко С. В. Синтез структури удосконалення локомотивних приймачів пристроїв АЛСН / С. В. Панченко, М. С. Кошевий // Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 211. – С. 303-317.

29. Панченко С.В. Алгебра мереж Петрі. Частина 2. Розширення – квазидвонаправлені прості й складні функціональні переходи нечітких МП / Г.І. Загарій, С.В. Панченко, Б.Т. Ситнік, В.О. Бриксін / Зб. наук. пр. – Донецьк: ДонІЗТ. – 2009. – Вип. 20. – С.16-38.

Додаткові праці

30. Панченко С.В. До питання про технічну можливість, перспективи та проблеми впровадження мікропроцесорних систем управління рухом поїздів / С.В. Панченко, Н.Г. Панченко, М.І. Данько // Тези доповідей міжнародної конференції з управління “Автоматика – 2002”. – Донецьк: ДНУ. – 2002. – Т.2. – С. 73-74.
31. Панченко С.В. Интеллектуальные системы диспетчерского контроля и управления для железных дорог / С.В. Панченко // Материалы 20-й международной научно-практической конференции “Перспективные системы контроля и управления на железнодорожном транспорте” (г. Алушта, Украина, 2007 г.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №4 (Додаток). – С. 49 - 51.
32. Панченко С.В. Організація управління рухомими об’єктами залізничного транспорту на основі адаптації та нейронних мереж / С.В. Панченко // Тези доповідей 1-ї міжнародної конференції “Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України” (м.Євпаторія, Україна, травень 2007 р.). – Х.: УкрДАЗТ. – 2007.– С. 25-26.
33. Панченко С. В. Моделирование динамических ситуаций перевозок на основе нового расширения сетей Петри – квазидвонаправленности дуг и переходов / С.В. Панченко // Сборник материалов Сессии “Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных и прикладных научных задач”, ИВТН – 2008 (г. Москва, декабрь 2008 г.). – С.54.
34. Панченко С. В. Критерії оптимізації транспортних систем/ С.В. Панченко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні технології на транспорті, у промисловості та освіті” (м. Дніпропетровськ, травень 2009 р.). – С.92.
35. Панченко С.В. Контроллеры и процессоры с параллельной архитектурой / И. А. Фурман, В. А. Краснобаев, М. Л. Малиновский, С. В. Панченко: Учебник для ВУЗов. – Х.: УкрГАЖТ, 2006. – 416 с.
36. Панченко С.В. Система интервального регулирования движения поездов на перегонах / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, В. А. Сотник, С. В. Панченко: Учебное пособие для ВУЗов. – Х.: УкрГАЖТ, 2005. – 256 с.
37. Панченко С. В. Теоретичні основи проектування комп’ютерно-інтегрованих систем транспортних засобів. Книга 1. Диференціальні перетворення для комп’ютерного моделювання керуючих систем / В. Л. Баранов,

А. А. Засядько, С. В. Лістровий, С. В. Панченко: Підручник для ВНЗ. – Х.: ПП Видавництво “Нове слово”, 2007. – 176 с.

АНОТАЦІЯ

Панченко С.В. Моделі і методи адаптивного керування параметрами руху засобів рейкового транспорту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2009.

У дисертації на основі системного підходу розроблено перспективну концепцію синтезу автоматизованих систем керування рухомими одиницями рейкового транспорту залізниць для автоматизованого ведення графіка руху поїздів.

На основі нових розширень чітких та нечітких мереж Петрі запропоновано комплекс логіко – динамічних моделей диспетчерських підсистем, які враховують нечіткі збурення зовнішнього середовища. Ці моделі дозволяють прогнозувати процес формування керуючих дій щодо швидкості та підвищити оперативність їх введення в контури керування.

Запропоновані методи і процедури побудови контурів нижнього рівня систем керування рухомими одиницями. Ці методи на відміну від існуючих реалізують режим динамічної адаптації. Такий режим реалізовано шляхом поточного обчислення у реальному часі критерію оптимізації та параметрів настроювання регуляторів.

Ключові слова: автоматизована система керування засобами рейкового транспорту, графік руху поїздів, адаптивний контур керування рухомою одиницею.

АННОТАЦИЯ

Панченко С.В. Модели и методы адаптивного управления параметрами движения средств рельсового транспорта. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2009.

В диссертации на основе системного подхода разработана перспективная концепция синтеза автоматизированных систем управления подвижными единицами рельсового транспорта железных дорог для автоматизированного

ведения графика движения железнодорожных поездов. Такая система должна представлять собой иерархическую структуру, состоящую из диспетчерских подсистем (средний уровень) и контуров непосредственного управления рельсовыми средствами железнодорожного транспорта (нижний уровень).

Впервые на основе обоснованных критериев оптимизации (оперативность принятия решений с уверенностью в правильности их принятия; минимум интеграла модуля куба ошибки сигналов; максимальная степень устойчивости) предложены методы построения адаптивных подсистем и контуров управления средствами рельсового транспорта железных дорог для повышения стабильности поддержания их скорости.

Разработаны новые расширения четких и нечетких сетей Петри путем введения квазидвунаправленных дуг и различных нечетких переходов, совокупность которых позволила создать модели логико – динамических (диспетчерских) подсистем и обеспечить упрощение моделей от 15 до 50 %.

Учтена особенность подвижных единиц, состоящая в распределенности их параметров (масса, запаздывание) вдоль поезда. Показано, что модель объекта – подвижной единицы, описываемая уравнениями в частных производных, может быть представлена динамической моделью с эквивалентным запаздыванием.

Разработан метод адаптивной фильтрации сигналов, которые обрабатываются в контурах управления скоростью, на основе определения текущих оценок характеристик сигналов и помех. В отличие от классических методов предложенный метод не требует накопления информации о статистических характеристиках сигналов и помех. Путем текущего вычисления отношения уровней сигнал/помеха этот метод позволяет в режиме динамической адаптации непрерывно подстраивать основной параметр адаптивного фильтра – постоянную времени.

Усовершенствован критерий оптимизации для синтеза адаптивного фильтра, который характеризует превышение оценкой мощности выходного сигнала фильтра мощности составляющей выходного сигнала, вызванной помехой. Это позволяет более эффективно подавлять помеховую составляющую в выходном сигнале.

Для контуров управления скоростью рельсовых подвижных единиц, которые содержат адаптивные фильтры и адаптивные регуляторы, разработана процедура синтеза их параметров на основе предложенной динамической адаптации параметров.

Впервые разработана универсальная модель адаптивного помехоустойчивого контура управления, который функционирует в режиме динамической адаптации. Выполнено исследование динамики процессов, которое подтвердило полученные теоретические результаты. Показано, что

использование критерия максимальной степени устойчивости обеспечивает получение близких к апериодическим процессов при изменении характеристик помех и параметров подвижных единиц в широких пределах. Это даст возможность при реализации перспективных контуров управления скоростью средств рельсового транспорта железных дорог повысить участковую скорость поездов.

Ключевые слова: автоматизированная система управления средствами рельсового транспорта, график движения поездов, адаптивный контур управления подвижной единицей.

ABSTRACT

Panchenko S. V. The models and methods of the adaptive control on the motion parameters of the railway transport means.- Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.22.20 – exploitation and repair of transport means; Ukrainian state academy of the railway transport; Kharkov, 2009.

On the basis of system approach it was developed the perspective conception of automatized systems synthesis of rolling stock control for automatized conduct of a schedule for railway movement.

System of logical - dynamic models of controller subsystems which take into account fuzzy perturbations of environment was proposed on the basis of modern extension of fuzzy Petri nets. These models make it possible to predict the processes of rolling stock control and improve the efficiency, when introducing them to control circuits.

Methods and procedures of construction of lower level circuits for rolling stock control systems are proposed. These methods realize the condition of dynamical adaptation, as distinguished from the existent ones. Such condition is represented by current calculation of optimization criterion and regulator tuning parameters in the course of real time.

Keywords: automatized control system, adaptive circuit, rolling stock control, schedule for railway movement.

Панченко Сергій Володимирович

УДК 656.225

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ
ПАРАМЕТРАМИ РУХУ ЗАСОБІВ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Відповідальний за випуск

доц. Ситнік Б.Т.

Підписано до друку _____
Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.
Умовн. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,0.
Замовлення № . Тираж 100.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків – 50, пл. Фейєрбаха, 7