

Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

КОСОЛАПОВ АНАТОЛІЙ АРКАДІЙОВИЧ

УДК 629.08:004.09

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ  
ПОБУДОВИ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ЗАЛІЗНИЧНИХ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Науковий консультант  
Жуковицький Ігор Володимирович,  
д.т.н., професор

Дніпропетровськ - 2014

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ, ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ, ДЖЕРЕЛ РЕСУРСООЩАДЖЕННЯ І РЕЗЕРВІВ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИМИ СТАНЦІЯМИ У СКЛАДІ АСК ВП УЗ-Є.....	23
1.1 Напрямки реалізації транспортної стратегії України і завдання інформатизації галузі. Проблеми розвитку інфраструктури інформатизації.....	23
1.2 Зміна парадигми комп'ютеризації.....	25
1.3 Архітектура систем автоматизації.....	27
1.4 Системні характеристики АСК сортувальних станцій.....	30
1.4.1 Сортувальні станції як об'єкти автоматизації.....	31
1.4.2 АСК сортувальними станціями як об'єкти проектування .....	34
1.4.3 Складність АСК сортувальними станціями як систем керування.....	36
1.5 Розвиток архітектури станційних систем автоматизації в країні і за кордоном.....	37
1.5.1 Удосконалення АСК СС.....	37
1.5.2 Етапи розвитку і структури систем автоматизації сортувальних гірок.....	39
1.5.3 Принципи побудови і проектування закордонних систем керування сортувальними станціями.....	44
1.6 АСК ВП УЗ-Є як основа інтеграції інформаційно-керуючих систем в «Укрзалізниці» .....	45
1.6.1 Чотирьох рівнева структура побудови АСК ВП УЗ-Є.....	45

1.6.2 Обчислювальні і комунікаційні ресурси системи.....	50
1.6.3 Особливості побудови та функціонування системи.....	51
1.6.4 "Граничні" проектні оцінки характеристик системи.....	52
1.6.5 Оцінка експлуатаційних характеристик АСК ВП УЗ-Є.....	55
1.7 Висновки до розділу 1.....	58

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ І ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА

СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ.....	61
2.1 Особливості проектування та експлуатації складно структурованих систем керування сортувальних станцій.....	61
2.2 Розробка багатосортних алгебраїчних моделей дискретних систем керування сортувальними гірками у реальному часі.....	68
2.2.1 Час як змінна.....	70
2.2.2 Події і принципи декомпозиції дискретних систем керування сортувальними гірками.....	72
2.2.3 Основні визначення дискретних систем реального часу.....	77
2.2.4 Композиція і декомпозиція структур.....	79
2.2.5 Багатосортна алгебра, морфізм і гомоморфізм структур дискретних систем керування.....	85
2.2.6 Практичні аспекти теоретичних досліджень.....	90
2.3 Розробка концептуальних моделей сортувальних станцій, гіркових процесів і систем.....	91
2.3.1 Концептуальна модель автоматизованої сортувальної станції.....	92
2.3.2 Структуризація процесів та систем сортувальних станцій.....	95
2.3.3 Концептуальна модель сортувальної гірки.....	97
2.4 Розвиток комплексного підходу до системного аналізу, проектування і вдосконалення систем автоматизації сортувальних станцій.....	111

2.4.1 Сучасні тенденції розвитку процесів інформатизації та їх вплив на проектування інформаційних систем.....	111
2.4.2 Принципи і загальні вимоги до методології проектування систем реального масштабу часу.....	114
2.4.3 Методики системного проектування як основа створення складних ресурсощадних АСК .....	116
2.4.4 Формування науково-методичного комплексу системного інтегратора (КСІ - $\Xi$ ).....	122
2.5 Висновки до розділу 2.....	129

### РОЗДІЛ 3

РЕСУРООЩАДНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ І ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І ТЕХНІЧНИХ СТРУКТУР ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОРТУВАЛЬНИМИ СТАНЦІЯМИ.....	132
3.1 Принципи побудови М-моделей розподілених інформаційно-керуючих систем.....	132
3.2 Завдання структурної оптимізації М-моделі і загальний алгоритм його вирішення.....	137
3.3 Принципи застосування М-моделей в процесі проектування інформаційно-плануючої системи сортувальної станції ІПС СС.....	140
3.4 Методи пошуку раціональних варіантів інформаційних структур АСК на основі генетичних алгоритмів.....	144
3.4.1 Постановка задачі і метод раціонального розподілу інформаційних потоків в інформаційно-керуючих системах.....	144
3.4.2 Метод пошуку раціональних "зіркоподібних" структур інформаційних систем з використанням кодування Прюфера.....	161
3.5 Ресурсощадні методи вибору технічних структур децентралізованих інформаційно-керуючих систем сортувальних станцій.....	172

3.5.1 Ресурсоощадний метод дослідження умов доцільності децентралізації функцій керування в системах гіркової автоматики.....	172
3.5.2 Метод вибору технічних структур цифрових керуючих систем сортувальних гірок за критерієм ефективного використання обчислювальних ресурсів.....	183
3.5.3 Ресурсоощадний підхід до оцінювання витрат на побудову розподілених цифрових керуючих систем.....	198
3.6 Висновки до розділу 3.....	203

## РОЗДІЛ 4

РОЗВИТОК МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ.....	206
4.1 $\varphi$ -транзакція як основна модель для оцінки інформаційно-часових характеристик сервіс-орієнтованих систем.....	206
4.1.1 Визначення поняття $\varphi$ -транзакція.....	206
4.1.2 Метод оцінки характеристик системи керування реальним часом в процесі проектування.....	209
4.2 Методи обробки $\varphi$ -транзакцій і розрахунку їх характеристик.....	217
4.2.1 Метод оцінки математичного очікування часу виконання $\varphi$ -транзакцій .....	217
4.2.2 Автоматизація побудови і розрахунку характеристик $\varphi$ -транзакцій .....	224
4.3 Методика, аналітичні моделі та інструментальні засоби вибору системи пріоритетів обробки $\varphi$ -транзакцій.....	225
4.4 Висновки до розділу 4.....	234

## РОЗДІЛ 5

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

## СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ.....237

## 5.1. Метод оцінки надійності автоматизованої системи керування маршрутами руху на гірці (АСК МР) .....237

## 5.1.1 Постановка завдання і початкові положення..... 237

## 5.1.2. Оцінка необхідних рівнів функціональної надійності АСК МР.....239

## 5.1.3 Розрахунок основних показників надійності АСК МР.....245

## 5.2 Дослідження впливу діагностики розподілених систем керування на показники їх надійності..... 250

## 5.2.1 Математичний опис функціонування систем з діагностикою.....250

## 5.2.2 Розробка графоаналітичних моделей для дослідження варіантів технічної структури РІКОС ІПС СС з діагностикою і резервуванням..... 254

## 5.3 Удосконалення методів аналізу і розрахунку надійності систем з нечіткими параметрами .....261

## 5.3.1 Метод аналізу надійності нечітких систем з використанням теорії розмитих множин..... 261

## 5.3.2 Метод використання різних видів розмитих множин для оцінки надійності нечітких систем ..... 273

## 5.4 Висновки до розділу 5.....279

## ВИСНОВКИ.....282

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....287

## Додаток А. Система підвищеної надійності для керування процесом розпуску составів на сортувальній гірці..... 314

## Додаток Б. Комплекс системного інтегратора CSI..... 335

Додаток В. Програма побудови і розрахунку інформаційно-часових характеристик транзакцій комп'ютерних систем реального масштабу часу (CSProject) .....	346
Додаток Г. Програма розподілу інформаційних потоків в системах РМЧ (OPTiFLOW) .....	349
Додаток Д. Програма оптимізації інформаційно-керуючих систем (ОПТИКОС) .....	354
Додаток Е. Програма генетичного алгоритму оптимізації структур інформаційних систем (GAOSIS) .....	361
Додаток Ж. Програма вибору пріоритетів потоків заявок в інформаційних системах (PRIORY) .....	371
Додаток З. М-моделі системи ІПС СС.....	389
Додаток І. Загальні тенденції і етапи удосконалення архітектури автоматизованих систем.....	401
Додаток Ї. Інформаційно-часові діаграми для опису алгоритмів роботи децентралізованих інформаційних систем реального масштабу часу на сортувальних станціях.....	410
Додаток К. Синтаксис $\varphi$ -транзакцій та їх еквівалентні перетворення.....	418
Додаток Л. Логіко-лінгвістична система керування сповільнювачем прицільної гальмівної позиції на сортувальній гірці.....	425
Додаток М. Принципи нечіткої маршрутизації для розподілених систем і мереж АСК ВП УЗ-Є.....	429
Додаток Н. Онтологічні моделі в задачах автоматизації сортувальних станцій.....	435
Додаток О. Приклади рішення задач оцінки надійності нечітких систем без резервування і з багатократним резервом.....	443
Додаток П. Акти впровадження результатів роботи.....	450

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК	автоматизована система керування
АСК ВП УЗ-Є	єдина АСК вантажними перевезеннями "Укрзалізниці"
АСК МР	АСК маршрутами руху на сортувальній станції (рос. АСУ МД)
АСК РСГ	АСК розформування составів на гірці (рос. АСУ РСГ)
АСК СС	АСК сортувальної станції (рос. АСУ СС)
АСОТУСС	автоматизована система організаційно-технологічного управління сортувальної станції
АС УВП	аналітичні сервери управління вантажними перевезеннями
АРШ	система автоматизованого керування швидкістю відчепів на гірці
АП	абсолютні пріоритети
БД	база даних
БП	безпріоритетна дисципліна обслуговування заявок
ВКХС	контроль відчепу і вимір ходових властивостей
ВП	відносні пріоритети
ДСРМЧ	дискретні СРМЧ
ЕОМ	електронна обчислювальна машина
ЗП	змішані пріоритети
ІАРШ	автоматичне регулювання швидкості відчепів в інтервальних гальмівних позиціях
ІКК СС	інформаційно-керуючий комплекс сортувальної станції (рос. ИУК СС)
ІКОС	інформаційно-керуюча обчислювальна система
ІПС СС	інформаційно-плануюча система сортувальної станції
КеОК	керуючий обчислювальний комплекс (рос. УВК)
КеОМ	керуюча обчислювальна машина (рос. УВМ)

КПТЗА	комплекс програмно-технічних засобів автоматизації
КСІ	комплекс системного інтегратора
КТЗ	комплекс технічних засобів
ЛЗ	лінгвістичне забезпечення
МЗ	математичне забезпечення
МКЕОМ	мікро-ЕОМ
МКК	мікроконтролер
МККпс	мікроконтролерна підсистема
МКП	мікропроцесор
НО	напольне (наземне) обладнання
НА	низова автоматика
ОЗ	організаційне забезпечення
ОС	операційна система
ПАРШ	автоматичне регулювання швидкості відчепів в приціль- них гальмівних позиціях
ПЗ	програмне забезпечення
ПЗО	пристрої зв'язку з об'єктом (рос. УСО)
РІКОС	розподілена ІКОС
СМО	система масового обслуговування
СРМЧ	система реального масштабу часу
ТЗ	технічне завдання
ТОА	технологічний об'єкт автоматизації
ТОК	технологічний об'єкт керування
УІП	умовна інформаційна потужність АСК
ФПБ	функціональний програмний блок
ФЧД	функціонально-часові діаграми
ЦКС	цифрова керуюча система
Capacity reserves	продуктивність, пропускна здатність, ємність

HC-FS	Hard Client - File Server (Товстий клієнт - Файловий сервер)
HC-DBS	Hard Client - Data Base Server (Товстий клієнт - Сервер баз даних)
p2p- архітектура	peer to peer архітектура; однорангова, децентралізована або пірінгова мережа
rsДСРМЧ	реактивна ДСРМЧ
SC-AS-DBS	Slim Client - Application Server - Data Base Server (Тонкий клієнт - Сервер додатків - Сервер баз даних)
SWC-WS-DBS	Slim Web Client - Web Server - Data Base Server (Тонкий веб-клієнт - Веб-сервер - Сервер баз даних)
SWC-WS-AS- DBS	Slim Web Client - Web Server - Application Server - Data Base Server (Тонкий веб-клієнт - Веб-сервер - Сервер додатків - Сервер баз даних)
“The bottom line”	верхні витрати, повні проектні вартості
Timeliness	своєчасність

## ВСТУП

Сортувальні станції є одним з головних елементів транспортної інфраструктури, які відіграють значну роль в забезпеченні потреб національної економіки та населення в перевезеннях. В сучасних умовах нестабільність обсягів перевезень, зміни структури і напрямків транспортних потоків, фізичне і моральне старіння інфраструктури та рухомого складу залізниць та інтеграційні процеси співробітництва з країнами Євросоюзу висувають перед залізницями нові завдання. Це, в першу чергу, оновлення застарілої технічної бази сортувальних станцій і впровадження сучасних засобів автоматизації, які дозволять підвищити безпеку і якість транспортних послуг, знизити витрати енергоресурсів, підвищити продуктивність праці, зменшити трудовитрати на станціях і, загалом, скоротити експлуатаційні витрати.

**Актуальність роботи.** На мережі залізниць України розміщені 15 вирішальних сортувальних станцій, серед яких лише 4 мають частково автоматизовані гірки. До того ж від 50 до 90% релейного обладнання та комп'ютерної техніки, що складають інформаційну інфраструктуру станцій, виробили свій ресурс. Зволікання питаннями вдосконалення засобів автоматизації з кожним роком ускладнює проблему ресурсоощадження. Основною метою удосконалення технологічних процесів сортувальних станцій є проведення прискореної і якісної модернізації технічних засобів автоматизації у відповідності з обсягами роботи та сучасними вимогами інтеграції процесів і систем керування перевезеннями. Тому в Транспортній стратегії України до 2020 року, як пріоритетні напрямки розвитку залізничної галузі, визначені «...забезпечення розвитку опорних сортувальних станцій» і «створення автоматизованої системи керування залізничними перевезеннями через головний і регіональні центри управління».

Рациональний вибір ресурсоемкого комплексу технічних засобів автоматизації для кожної станції визначається її конструкцією та технологією роботи і являє собою досить складну задачу. Склад і характеристики тех-

нічних засобів автоматизованого керування процесами розформування-формування составів, які визначаються при їх розробленні або вдосконаленні, впливають на техніко-експлуатаційні і економічні показники роботи станцій. Ефективним засобом вирішення задачі пошуку раціональних шляхів удосконалення технічних засобів і систем автоматизації на сортувальних станціях є математичні моделі, методи, алгоритми і інструментальні засоби їх аналізу і синтезу.

Таким чином, розвиток наукових основ побудови, модернізації і експлуатації систем автоматизації залізничних сортувальних станцій з метою підвищення їх ефективності є актуальною науково-прикладною проблемою і має велике значення для залізничного транспорту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р). Дослідження та їх результати, які висвітлені в дисертації, є узагальненням матеріалів, що увійшли до науково-дослідних робіт, виконаних Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: "Система сопряжения АСУ СС с ГАЦ с использованием микро-ЭВМ. Разработка технического проекта" (№ держреєстрації 01840046645); "Разработка и внедрение системы ГАЦ (АСУ МД) на базе микро-ЭВМ СМ-1800 для ст. Пермь-Сортировочная Свердловской ж.д. (Исследование и разработка алгоритмов и устройств контрольно-диагностического обеспечения системы ГАЦ)" (№ держреєстрації 01840046646); "Разработка информационно-управляющего комплекса (ИУК) сортировочной системы для автоматизации сбора и обработки информации, прогнозирования и выдачи рекомендаций" (№ держреєстрації 01840046647); "Информационно-управляющий комплекс сортировочной системы для автоматизации сбора и обработки информации, прогнозирования и выдачи рекомендаций. Разработка техно-рабочего проекта" (№ де-

ржреєстрації 01850025872); «Автоматизированная система организационно-технологического управления сортировочными станциями (АСОТУ СС). Разработка технического задания на систему в целом» (№ держреєстрації 01860063785); "Информационно-управляющий комплекс сортировочной системы для автоматизации сбора и обработки информации, прогнозирования и выдачи рекомендаций. Откорректировать техно-рабочий проект и ввести систему в эксплуатацию на ст. Нижнеднепровск-Узел» (№ держреєстрації 01870049627); "Информационно-планирующая система для сортировочных станций (ИПС СС). Техническое обеспечение и подсистема диагностики (промежуточный)» (№ держреєстрації 01870049625); "Разработать и внедрить на сортировочных станциях АСУ маршрутами движения (АСУ МД)" (№ держреєстрації 01880020486); "Информационно-управляющая система сортировочных станций (ИУС СС). Информационно-планирующая система сортировочных станций (ИПС СС)" (№ держреєстрації 01880020448); "Информационно-управляющий комплекс сортировочной системы (ИУК СС). Переход на новую техническую базу и развитие функций системы" (№ держреєстрації 01900016147); "Выполнение оценки конструкции горки ст. Орехово-Зуево и разработка требований к внедряемой системе АРС, обусловленных особенностями сортировочного процесса" (№ держреєстрації 02910015395); «Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом на ст. Пермь-Сортировочная" (№ держреєстрації 01930012699); «Розробка методики для створення типових аналітичних серверів систем управління вагонними парками на основі моделювання вантажних перевезень в системі АСК ВП УЗ» (№ держреєстрації 0106U002257); «Удосконалення інформаційних технологій на сортувальних станціях" (№ держреєстрації 0107U005243); «Дослідження та розробка методів покращення технологічних показників автоматизованих сортувальних гірок (заклучний)" (№ держреєстрації 0109U003743); «Удосконалення інформаційних технологій на залізничному транспорті» (№ держреєстрації 0111U007619). В перелічених НДР ав-

тор дисертації є відповідальним виконавцем та автором звітів.

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою даної роботи є вирішення науково-прикладної проблеми в галузі залізничного транспорту, пов'язаної з розвитком наукових основ побудови і експлуатації систем автоматизації сортувальних станцій, працюючих в реальному масштабі часу, що дозволяє підвищити ефективність функціонування сортувальних станцій.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних основних задач:

1. Провести аналіз передумов розвитку автоматизованих систем керування сортувальними станціями у складі АСК ВП УЗ-Є.

2. Розробити принципи і наукові основи декомпозиції/композиції систем автоматизації сортувальних станцій і гірок як складних систем керування реального масштабу часу.

3. Розробити концептуальний підхід до побудови і удосконалення розподілених систем автоматизації технологічних процесів сортувальних станцій на основі ресурсоощадних методів формування раціональних технічних рішень в системах автоматизації.

4. Розробити наукові основи оптимізації інформаційно-функціональних структур автоматизованих систем на сортувальних станціях.

5. Запропонувати ресурсоощадні моделі і методи для обґрунтування вибору технічних структур розподілених децентралізованих систем гіркової автоматики.

6. Розробити наукові засади для інтегральної оцінки часових і інформаційних експлуатаційних характеристик і удосконалити методи формування пріоритетів обробки сигналів в системах керування реального часу сортувальних станцій.

7. Запропонувати науковий підхід щодо оцінки потрібних рівнів функціональної надійності АСК сортувальних гірок, які забезпечують потріб-

не зростання переробної спроможності гірки.

8. Удосконалити математичні моделі для дослідження впливу діагностики збоїв в роботі розподілених систем на показники їх надійності.

9. Удосконалити математичні моделі з нечіткими параметрами і методи оцінки на їх основі надійності станційних систем.

*Об'єкт дослідження* – процеси автоматизованого розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних станціях.

*Предмет дослідження* – методи поліпшення експлуатаційних характеристик автоматизованих технологічних процесів, які використовуються в процесі створення або удосконалення систем автоматизованого керування на залізничних сортувальних станціях.

#### **Методи дослідження.**

Постановка задач дослідження, вибір методів їх вирішення та аналіз результатів здійснено з використанням методів системного аналізу. Окремі задачі дослідження вирішувались з використанням наступних методів: теорія побудови архітектури ієрархічних систем керування для дослідження тенденцій розвитку технічного забезпечення систем автоматизації сортувальних станцій і гірок; багатосортні алгебри для розробки принципів декомпозиції/композиції дискретних систем керування розформування-формуванням составів на сортувальних гірках; теорія ієрархічних багаторівневих систем для розробки ієрархічних концептуальних структур технологічних процесів та систем сортувальних станцій і гірок; моделі та методи штучного інтелекту: генетичні алгоритми для пошуку раціональних варіантів інформаційно-функціональних структур станцій, теорія нечітких і розмитих множин для розробки моделей і методів розрахунку надійності технічних засобів автоматизації гірок; теорія зважених графів і методи їх перетворень для розробки моделей обробки заявок і оцінки їх інформаційно-часових характеристик; теорія систем масового обслуговування для оцінки завантаження і часових характеристик мікропроцесорів, для розробки моделей вибору раціональних дисциплін обслуговування заявок в сис-

темах реального часу; теорія ймовірностей, математична статистика, теорія гіркових процесів, методи планування факторних експериментів для розробки методів аналізу впливу схем резервування технічних засобів і їх діагностики на експлуатаційні характеристики сортувальних гірок.

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, які захищаються.** Достовірність та обґрунтованість приведених в дисертаційній роботі математичних моделей, методів, наукових підходів і положень та отриманих результатів обумовлені коректними математичними постановками задач, використанням сучасного математичного апарата для їх вирішення. Результати наукових досліджень збігаються з результатами створення та експлуатації гіркових систем автоматизації АСК МР (станція Пермь-Сортувальна) і ІКК СС (станція Нижньодніпровськ Вузол) та їх подальшого вдосконалення в зв'язку з оновленням технічного забезпечення.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертації вирішена актуальна науково-прикладна проблема в галузі залізничного транспорту, пов'язана зі створенням наукових основ побудови і експлуатації систем автоматизації сортувальних станцій шляхом поліпшення експлуатаційних характеристик автоматизованих систем керування, працюючих в реальному масштабі часу.

Наукова новизна визначається наступними положеннями.

Вперше:

1 - сформульовані наукові передумови розвитку систем автоматизації сортувальних станцій у складі АСК ВП УЗ-Є як класу складних систем, які дозволяють планувати створення ресурсоощадних систем автоматизації сортувальних станцій, спростити організацію взаємодії підсистем в АСК СС;

2 - розроблені принципи декомпозиції/композиції систем автоматизації сортувальних станцій і гірок як складних систем реального часу, які базуються на теорії ієрархічних багаторівневих систем і багатосортних алге-

брах, які надають змогу обирати обґрунтовані варіанти розподілених систем гіркової автоматики і створювати нові алгоритми керування процесами розформування-формування составів на сортувальних гірках;

3 - створено концептуальний підхід до побудови розподілених автоматизованих систем керування сортувальними станціями та наукового обґрунтування проектних рішень на основі використання сукупності ресурсощадних моделей та методів в задачах пошуку раціональних технічних структур систем автоматизації сортувальних гірок, що дозволяє знизити суб'єктивність і рівень помилок при створенні нових або удосконаленні діючих систем автоматизації;

4 - розроблено комплекс моделей і методів формування раціональних варіантів інформаційних структур систем автоматизації сортувальних станцій, який дозволяє мінімізувати інформаційний обмін в системах, виявити в них зайве дублювання потоків даних, збільшити їх достовірність;

5 - розроблено ресурсощадні методи вибору технічних структур розподілених децентралізованих систем гіркової автоматики, використання яких дозволяє зменшити технологічні втрати при відмовах обладнання, витрати на придбання промислових контролерів і керуючих ЕОМ;

6 - розроблена універсальна графоаналітична модель опису процесів функціонування автоматизованих систем керування технологічними процесами (φ-транзакція) і теоретичні основи її використання в системах автоматизації реального часу для інтегральної оцінки часових і інформаційних характеристик систем, а також вибору пріоритетів обробки сигналів з урахуванням часових обмежень для кожної технологічної ділянки, що сприяє зменшенню кількості порушень технологічних процесів на автоматизованій сортувальній гірці при впровадженні нових функцій і задач автоматизації;

7 - запропоновано метод оцінки рівнів функціональної надійності АСК сортувальної гірки, який дозволяє обґрунтувати вибір надійних структур з резервуванням для зменшення втрат при відмовах обладнання в процесі

впровадження нових автоматизованих функцій, що забезпечує необхідний приріст переробної спроможності гірки;

удосконалено:

8 - математичні моделі впливу діагностики збоїв в роботі розподілених систем автоматизації на показники їх надійності і формування вимог до підсистем діагностики АСК;

9 - метод обчислення надійності систем з використанням нечітких математичних моделей, які відрізняються введенням уніфікованого чотиримісного кортежу для опису трикутних і трапецієподібних функцій приналежності і табличного способу виконання нечітких арифметичних операцій для оцінки коефіцієнтів готовності складних неоднорідних структур автоматизації, що дозволяє прискорити і спростити отримання показників надійності систем залізничної автоматики.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновані методи та алгоритми реалізовано у вигляді комплексу комп'ютерних програм: "Генетичний алгоритм оптимізації структур інформаційних систем (GAOSIS)" (свідоцтво про державну реєстрацію авт. права на твір № 45271); "Вибір пріоритетів потоків заявок в інформаційно-керуючих системах реального часу» («PRIORY»)" (свідоцтво про державну реєстрацію авт. права на твір № 45855); "Оптимальний розподіл інформаційних потоків в системах» («OPTiFLOW»)" (свідоцтво про державну реєстрацію авт. права на твір № 45856); "Оптимізація інформаційно-керуючих обчислювальних систем» («ОПТИКОС»)" (свідоцтво про державну реєстрацію авт. права на твір № 45857); "Комплекс системного інтегратора» («CSI»)" (свідоцтво про державну реєстрацію авт. права на твір № 45858).

Розроблено технічну структуру розподіленої системи керування технологічним процесом розпуску составів на сортувальній гірці, на яку видане авторське свідоцтво на винахід (АС SU № 1073146 А1, МПК В61L17/00. Устройство для управления технологическим процессом роспуска составов на сортировочной горке).

Результати роботи використані: при розробці проектів першої мікропроцесорної системи керування маршрутами руху відцепів АСК МР на станції Пермь-Сортувальна (акт впровадження "СЦБ-Транс", ОАО "РЖД", Росія), в процесі дослідження і розробки інформаційно-плануючої системи ІПС СС, при розробці і модернізації інформаційно-керуючого комплексу сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці (акт впровадження "Придніпровська залізниця"), в процесі розробки системи аналітичних серверів в АСК ВП УЗ-Є (акт впровадження "Головне управління інформаційних технологій Укрзалізниці").

Методика системного проектування використовувалась при розробці інформаційних систем автоматизації науково-технічної бібліотеки університету, мережного комп'ютерного Центру автоматизованого дистанційного тестування і навчання «Лідер» (акт впровадження РИМ2000).

Розроблені в дисертації моделі, методи і програми використовуються в навчальному процесі при підготовці спеціалістів і магістрів в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при викладанні дисциплін «Проектування інформаційно-керуючих комплексів», «Інформаційні і комунікаційні комп'ютерні системи та мережі», «Моделі та методи представлення та обробки знань», «Системи штучного інтелекту», а також в курсовому і дипломному проектуванні. Відповідні акти впровадження результатів дослідження наведені у додатку II до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Всі положення теоретичних досліджень та результати їх впровадження, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Статті [70, 71, 73, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 85, 97, 100, 101, 110, 111, 113] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в монографії [69] та статтях [109, 114] автором визначені напрямки, етапи, структури автоматизації сортувальних станцій та резерви АСК ВП УЗ-Є з розширення сервісів, що надаються; в статтях [20, 68, 72, 77, 89, 104, 112] розробле-

но методику системного проектування і вдосконалення систем автоматизації сортувальних станцій; в [61, 64, 89, 96, 99, 102, 103, 108, 112] запропоновані принципи декомпозиції, уніфікації та інтеграції засобів автоматизації розформування-формування составів на сортувальних станціях; в [20, 22, 68, 94, 115] розроблено інформаційно-функціональну модель процесів на сортувальних станціях і методи її оптимізації з використанням генетичних алгоритмів; в [23] запропоновані моделі і методи для аналізу інформаційно-часових характеристик розподілених інформаційно-керуючих систем реального часу; в [21, 113] розроблено табличні моделі для вибору системи раціональних пріоритетів обробки замовлень; в [74, 108] створено моделі для функціонально-логічного та конструктивного komponування уніфікованих проектних рішень засобів автоматизації сортувальних гірок; в [90] розроблено систему моделей для оцінки показників надійності засобів автоматизації; в статтях [62, 67, 86, 91, 92, 93, 106] автору належать методика, моделі, методи і алгоритми розподіленої діагностики в системах автоматизованого керування на сортувальних станціях; в статтях [63, 66, 72, 87; 88, 193] автору належить методика проектування корпоративних систем і організація навчального процесу на основі нових інформаційних технологій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 36 національних та міжнародних науково-практичних конференціях, семінарах і нарадах, серед яких: міжнародні школи-семінари "Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті" (Харків, міністерство транспорту України, міжнародна Академія електротехнічних наук, 1995, 1996, 1997, 1998, 2007); 3-я українська конференція з автоматичного керування "Автоматика - 96" (Севастополь, СевДТУ, 1996); науково-методична конференція "Сучасні проблеми дидактики вищої школи" (Донецьк, ДонДУ, 1997); 3 міжнародна науково-методична конференція "Освіта та Віртуальність" (Харків, ХТУРЕ, 1999); International Conference

on Engineering Education, ICEE'99, (Ostrava - Prague: VSB - Technical University of Ostrava, 1999); міждержавні науково-методичні конференції "Комп'ютерне моделювання" (Дніпродзержинськ, ДДТУ, 1998, 1999, 2000, 2001, 2010); The Role of Universities in the Future Information Society "RUFIS-2000" (Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, KPI, 2000); міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика-2000" (Львів, 2000); ЮЖЕЛ 7th International Conference of Railway Experts (Yugoslavia, Vrnjacka Banja, 2000); міжнародні науково-практичні конференції "Інформаційні технології на залізничному транспорті" "Інфотранс" (Санкт-Петербург, 1996, 2000, 2005, 2007); LXVI міжнародна науково-практична конференція "Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту" (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2006); I міжнародна науково-практична конференція "Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті (EMC-R 2007)" (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2007); V міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології в наукових дослідженнях і навчальному процесі" (Луганськ, 2010); міжнародні науково-практичні конференції "Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті" (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2011, 2012, 2013); регіональний науковий семінар Придніпровського Наукового Центру НАН України «Сучасні проблеми керування і моделювання складних систем» (Дніпропетровськ, 2012); Международная научно-практическая конференция SWorld «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (Одеса, 2012, 2013); Науково-технічна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (Дніпропетровськ, 2013).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 95 праць: 2 монографії, 34 наукові статті у фахових виданнях, з яких 10 зареєстровано в міжнародній наукометричній базі РІНЦ Science Index і дві статті надруковані за кордоном в Чехії і Югославії, 1 авторське свідоцтво, 6 свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми, 15 додаткових

статей, 36 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, а також 1 методичні вказівки.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і 16 додатків. Повний обсяг роботи - 456 сторінок, з них основний текст на 263 сторінках, 17 рисунків і 6 таблиць на окремих сторінках, список використаних джерел з 216 найменувань на 27 сторінках, 16 додатків на 145 сторінках.