

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

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

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ - 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Електронні обчислювальні машини” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Наукові консультанти:

доктор технічних наук, професор **Шафіт Євген Миронович**,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри ЕОМ;

доктор технічних наук, професор **Жуковицький Ігор Володимирович**,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри ЕОМ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Самсонкін Валерій Миколайович**,
Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України
Міністерства інфраструктури України, 1-й заступник директора;

доктор технічних наук, професор **Ломотько Денис Вікторович**,
Українська державна академія залізничного транспорту, проректор з наукової роботи;

доктор технічних наук, професор **Хандецький Володимир Сергійович**,
зав. кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету імені О. Гончара.

Захист відбудеться "27" лютого 2014 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, зал засідань, к. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Автореферат розісланий "23" січня 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук

Скалозуб В. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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».

Раціональний вибір ресурсоемкого комплексу технічних засобів автоматизації для кожної станції визначається її конструкцією та технологією роботи і являє собою досить складну задачу. Склад і характеристики технічних 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" (№ де-

ржреєстрації 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" (№ держреєстрації 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 (заключний)" (№ держреєстрації 0109U003743); «Удосконалення інформаційних технологій на залізничному транспорті» (№ держреєстрації 0111U007619). В перелічених НДР автор 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 ресурсощадних методів формування раціональних технічних рішень в системах автоматизації.

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

5. Запропонувати ресурсощадні 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 потрібне 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 системах 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 ресурсощадних 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 алгебрах, 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 (ф-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 відчепів 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 П до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Всі положення теоретичних досліджень та результати їх впровадження, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Праці [2, 3, 7, 8, 10, 13, 15, 17, 18, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35] опубліковані без співавторів. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в монографії [1] та статтях [32, 33] автором визначені напрямки, етапи, структури автоматизації сортувальних станцій та резерви АСК ВП УЗ-Є з розширення сервісів, що надаються; в статтях [9, 16, 19, 20, 39] розроблено методику системного проектування і вдосконалення систем автоматизації сортувальних станцій; в [5, 19, 20, 40] запропоновані принципи декомпозиції, уніфікації та інтеграції засобів автоматизації розформування-формування составів на сортувальних станціях; в [22, 30, 36, 38, 58, 59] розроблено інформаційно-функціональну модель процесів на сортувальних станціях і методи її оптимізації з використанням генетичних алгоритмів; в [37] запропоновані моделі і методи для аналізу інформаційно-часових характеристик розподілених інформаційно-керуючих систем реального часу; в [37, 55] розроблено табличні моделі для вибору системи раціональних пріоритетів обробки заявок; в [36, 42] створено моделі для функціонально-логічного та конструктивного компонування уніфікованих проектних рішень засобів автоматизації сортувальних гірок; в [44] розроблено систему моделей для оцінки показників надійності засобів автоматизації; в статтях [21, 23, 47, 48, 49, 51, 52] автору належать методика, моделі, методи і алгоритми розподіленої діагностики в системах автоматизованого керування на сортувальних станціях; в статтях [6, 9, 11, 12, 13, 21, 24, 57] 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, Vrnjaska 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); 1 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображена наукова новизна результатів, їх практичне значення. Наводяться відомості про апробацію і публікації результатів дисертації.

В першому розділі виконано аналіз сучасних напрямків, основних проблем, джерел ресурсощадження і резервів розвитку автоматизованих систем керування сортувальними станціями у складі єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці – АСК ВП УЗ-Є.

Значний внесок у вирішення проблеми удосконалення техніко-технологічних параметрів сортувальних станцій і розробку математичних моделей, методів, алгоритмів і технічних засобів автоматизованого керування процесами розформування-формування поїздів на сортувальних станціях зробили вчені Авер'янов Л.Г., Акуліничев В.М., Архангельський Є.В., Безсоненко С.А., Берестов І.В., Бикадоров О.В., Бобровський В.І., Боровков Ю.Г., Брилеєв О.М., Бутько Т.В., Буянов В.О., Гаврилюк В.І., Гершвальд А.С., Грунтов П.С., Долаберідзе О.М., Дудніченко О.М., Єфименко Ю.І., Іванченко В.М., Жуковицький І.В., Загарій Г.І., Кобзев В.А., Козлов П.О., Коз-

лов І.Т., Кравцов Ю.О., Красовський Г.А., Ломотько Д.В., Лябах М.М., Модін М.К., Муха Ю.О., Нагорний Є.В., Негрей В.Я., Никітін В.Д., Образцов В.М., Павлов В. Є., Переборов О.С., Правдін М.В., Ратніков В.Д., Родімов Б.О., Рогинський М.О., Савицький О.Г., Самков О.М., Самсонкін В.М., Сафріс Л.В., Скабаланович В.С., Сотніков Є.О., Сотніков І.Б., Страковський І.І., Тішкін Є.М., Шафіт Є.М., Федотов М.І., Фонарьов Н.М., Шабалін М.Г., Шабельніков О.М., Шейкін В.П., Ющенко М.Р. та інші.

На мережі залізниць України розташовано 36 сортувальних станцій, з них 15 є вирішальними, при цьому тільки 4 з них автоматизовані (частково). В даний час можна виділити наступні тенденції, які потребують особливої уваги: розширення наборів вирішуваних завдань на існуючій комп'ютерній базі; вимоги формування повідомлень та видачі керуючих дій в реальному масштабі часу; збільшення кількості інформаційних систем різного призначення; розвиток «засобів і технологій інформатизації»; масштабність, комплексний характер, інтеграція і ускладнення систем і процесів їх створення та модернізації; інтелектуалізація завдань, що вирішуються; відсутність єдиної системи понять і визначень у галузі прикладних ІТ-технологій і систем, що призводить до несумісності багатьох рішень, до їх дублювання та нерационального використання фінансових ресурсів; недостатня технічна оснащеність систем (на сортувальних станціях зношеність релейного і комп'ютерного обладнання становить від 50 до 90%) тощо. Все це можна віднести до однієї проблеми - відсутність науково обгрунтованого підходу до побудови і розвитку складних інформаційних систем (за оцінками фахівців Microsoft 54% ІТ-проектів в США зазнали невдачі через ігнорування опрацювання архітектурних питань; за останні два-три роки час на розробку архітектури інформаційних систем збільшився з 10-15 до 50% від загального часу виконання проекту).

В дисертації сформульовані теоретичні засади розвитку систем автоматизації сортувальних станцій у складі АСК ВП УЗ-Є. В сучасних умовах змінюється парадигма комп'ютерних систем автоматизації: здійснюється перехід від обчислювальних систем до інтелектуальних, в яких важливою характеристикою є архітектура автоматизованих систем керування (АСК). В роботі узагальнено поняття архітектури автоматизованих систем як мультиструктурної ієрархічної моделі, носієм якої є комплекс технічних засобів автоматизації. Він обмежує можливості та зумовлює ефективність реалізації інших видів забезпечення в АСК та всієї системи в цілому.

В роботі визначені основні системні характеристики АСК технологічних процесів на сортувальних станціях (АСК ТП СС). З позицій об'єкта автоматизації АСК ТП СС - це АСК безперервно-дискретними технологічними процесами, що реалізують локально-автоматичний (автоматичний) тип керування підвищеної умовної інформаційної потужності (809 - 2153 технологічних змінних) з вищим рівнем функціональної надійності. АСК ТП СС як об'єкт проектування - це багатомашинні системи управління, які відносяться до об'єктів максимальної, дуже високої складності, коли система, що проектується, має понад 10^6 складових частин. Складність АСК ТП СС як систем керування з позицій стохастичної динаміки визначається множиною взаємодіючих складових (підсистем), внаслідок чого вона набуває нових властивостей, які відсутні на підсистемному рівні і не можуть бути зведені до суми властивостей підсистемного рівня, тобто вони, як складні системи, мають синергетичний ефект. За Гельфандом-Цетліним, складною (великою) системою є система, в якій

суттєвим параметром, що впливає на її ефективність, виступає структура системи, або, як уточнюється в дисертації для комп'ютерних систем автоматизації, - її архітектура (мультиструктура). Велика ресурсоемкість сучасних складних систем автоматизації робить актуальною проблему науково-методологічного супроводу процесів ухвалення рішень при створенні або удосконаленні таких систем, що підтверджують проведені дослідження тенденцій розвитку архітектури станційних систем автоматизації в країні і за кордоном. В роботі визначені чотири етапи розвитку АСК СС та сім етапів і напрямків еволюції гіркових систем керування. На сучасному етапі комплексна автоматизація сортувальних станцій на основі промислових мікроконтролерів і керуючих ЕОМ з інтеграцією в єдину автоматизовану систему керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є) і використанням WEB-технологій дозволяє (за оцінками російських вчених) знизити витрати енергоресурсів на 30 % на один вагон з переробкою, підвищити переробку вагонів на станціях на 20-40 % залежно від завантаження, підвищити продуктивність праці і знизити трудовитрати на 10-15 %. Тому зволікання з розробкою і впровадженням сучасних систем автоматизації на сортувальних станціях призводить до відповідних втрат.

Виконаний в дисертації аналіз побудови закордонних і вітчизняних систем керування сортувальними станціями виявив наступні закономірності: 1) всі системи є децентралізованими, ієрархічними, розподіленими територіально і функціонально, в яких кількість підсистем коливається від 3 до 74; 2) в системах використовується дублювання окремих підсистем як засіб підвищення їх надійності; 3) системи містять окрему підсистему діагностики для підвищення коефіцієнту готовності АСК; 4) при створенні систем перевага надається промисловим мікроконтролерам як технічним засобам автоматизації; 5) багатоваріантність технічних структур автоматизації; 6) системи автоматизації інтегруються в національні системи автоматизованого керування вантажними перевезеннями; 7) розробка проектів автоматизації сортувальних станцій здійснюється з використанням методів математичного моделювання на всіх етапах проектування від технічного оснащення об'єкта автоматизації до технічної структури АСК ТП СС (фірма Siemens).

Оскільки АСК ВП УЗ-Є є інтеграційною платформою для всіх систем автоматизації, в тому числі і для АСК ТП СС, в дисертації запропонована чотирирівнева структурна модель для побудови і дослідження системи. У роботі вперше досліджені проектні та реальні характеристики АСК ВП УЗ-Є. Станом на липень 2012 року система використовує лише 60% проектних ресурсів і 17% ресурсів базової обчислювальної системи Р780, тобто є резерви для функціонального розвитку системи. В роботі приведені рекомендації щодо ефективності використання кластерних і мультипроцесорних структур в АСК ВП УЗ-Є.

В другому розділі розроблені принципи і наукові основи декомпозиції/композиції систем автоматизації сортувальних станцій і гірок як складних систем керування реального масштабу часу і сформовано концептуальний підхід до побудови і удосконалення розподілених інформаційно-керуючих систем на основі ресурсоощадних методів формування раціональних технічних рішень в системах автоматизації.

Системи АСК ТП СС як АСК реального масштабу часу характеризуються наступними основними показниками: велика кількість контрольованих параметрів, залежність регульованих величин від вхідних дій, динамічні характеристики і часові

обмеження (для сортувальних гірок - десятки мілісекунд), точність управління, розподіленість систем в просторі і умови протікання керованого процесу.

Для опису і дослідження АСК ТП СС як систем реального масштабу часу вперше запропоновані багатосортні алгебраїчні моделі, в яких час розглядається як змінна в глобальному (GT) і локальному часі (LT) і події описуються трійкою (e, t_1, t_2) . Для сортувальних станцій введені три види (множини) подій для відчепа i , що скачується за маршрутом m : $(e_{im}, t_1, t_2, \text{mod})$, $(e_{im}, t_1, t_2, \text{now})$, $(e_{im}, t_1, t_2, \text{past})$ - модельні (прогнозові) події, поточні події і минулі події.

Подійно-часовий підхід дозволив науково обґрунтувати наступні основні принципи декомпозиції сортувальної гірки як об'єкта керування: об'єктно-топологічний, технологічний, функціонально-топологічний і подійний.

Для опису дискретних систем реального часу з обмеженнями введено вісімку $A = (T, Q, E, Y, \phi, \beta, f_\mu, f_\mu^{\max})$, де восьмий елемент f_μ^{\max} визначає граничне значення функції переходів $f_\mu \leq f_\mu^{\max}$ (інші елементи: $T = R^+$ множина значень часу; $E = E^w \cup E^{sys} \cup E^{timer}$ множина подій і $I = E \times T$ - вхідний алфавіт; Q множина символів, відповідних станам; $Y = (Y_j | j \in J)$ індексована множина вихідних величин з $Y_j \in D \times T \times T$; $f_\mu = 1/\mu : \text{tran}(e) \rightarrow T$ - функція переходів; ϕ - функція: $\phi: T \times Q \times I \rightarrow Q$, функція наступного стану; якщо система знаходиться в стані q у момент t , то в стані q_1 система буде у момент часу $t + f_\mu(\text{tran}(e_{t_1}^{t_2}))$, де $e_{t_1}^{t_2} \in E$ є подія, $t_d \in$ момент появи події і $t \geq t_d$ - момент, коли завершується обробка події; β - множина загальних функцій $\beta = \{\beta_j | \beta_j: Q \rightarrow Y_j\}$, які називають вихідними функціями). Для визначених дискретних систем АСК ТП СС доведена можливість їх послідовної і паралельної композиції, морфізм і гомоморфізм їх структур, що важливо при формуванні різноманітних децентралізованих систем керування на гірці.

Вперше розроблені концептуальні моделі сортувальної станції, спрощений вигляд якої показано на рис. 1, і сортувальної гірки (одна зі схем наведена на рис. 2).

Виконана структуризація технологічних процесів і систем до рівня окремих ділянок і сигналів. Концептуально на станції виділено технологічний макрорівень T^m обробки поїздопотоків $F_\pi^{\text{in}} \rightarrow F_\pi^{\text{out}}$, інфраструктурний макрорівень контролю і керування потоками на T^m : $F_i^{\text{in}} \rightarrow F_i^{\text{out}}$ і диспетчерський макрорівень D^m . Розроблена концептуальна модель сортувальної гірки (рис. 2) містить структури технологічного страта S_1 , страта керування S_2 з трьома підстратами S_2^1 - робота локальної автоматики, S_2^2 - підстрат тактичного керування, S_2^3 - підстрат загальносистемного стратегічного управління, страта макрорівнів керування сортувальною гіркою S_3 , які

дозволяють реалізувати різноманітні принципи декомпозиції і стратегії керування сортувальною гіркою. На технологічному страті йде обробка відцепів $q_j \in Q$ з властивостями g_{ji} згідно програми розпуску \mathfrak{R} на технологічній ділянці i -го типу за номером n $S_1^i(y_i^n)$.

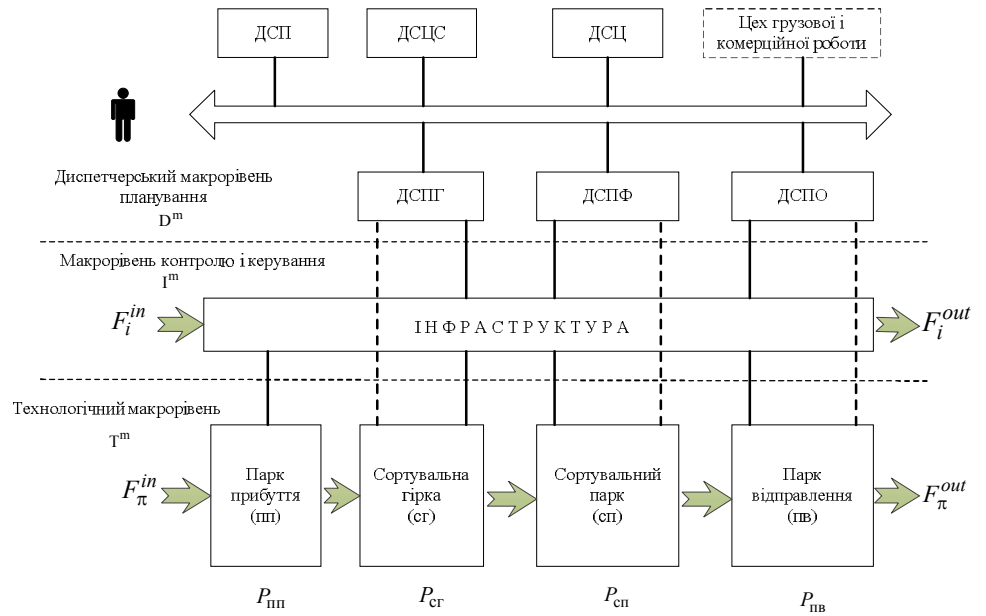


Рисунок 1 - Концептуальна схема сортувальної станції

На кожній ділянці формується показник керування b_i і сигнал зворотного зв'язку μ_i . Страт S_2 формує керуючі дії $u_i(t, j)$ на основі μ_i, g_{ji} і директивних рішень $\omega_i(t, j) \in \Omega$ для ділянки y_i^n . Верхній, абстрактний рівень, визначає вектори показників роботи гірки B і значення функцій втрат Λ і R і формує $\omega_i(t, j)$. В дисертації розроблені структури стратів S_1 і S_2 .

Розроблені концептуальні моделі дозволяють впорядкувати різноманітні моделі автоматизованого розпуску і вдосконалити алгоритми керування гіркою на єдиній науковій основі.

Системний аналіз сучасних глобальних тенденцій розвитку процесів інформатизації з позицій створення АСК ТП СС дозволив сформулювати принципи і загальні вимоги до методологій їх створення: S - принцип системної єдності і розвитку; D - принцип декомпозиції систем; I - принцип ієрархічності; M - принцип багатоетапності процесу проектування; K - багатокритеріальність проектування з перевагою часових критеріїв; P - принцип використання методології паралельного проектування; R - принцип ітеративності (рекурсивності) проектування; T - принцип типізації - уніфікації проектних рішень і проектних процедур; A - принцип автоматизації процесів проектування і формування інформаційної бази проектних рішень.

Проведене дослідження методик створення АСК в промисловості і на залізничному транспорті виявило відсутність комплексних підходів до системного дослідження і побудови АСК реального масштабу часу. Тому в роботі узагальнені основні кількісні критерії проектування систем реального часу: своєчасність, продуктив-

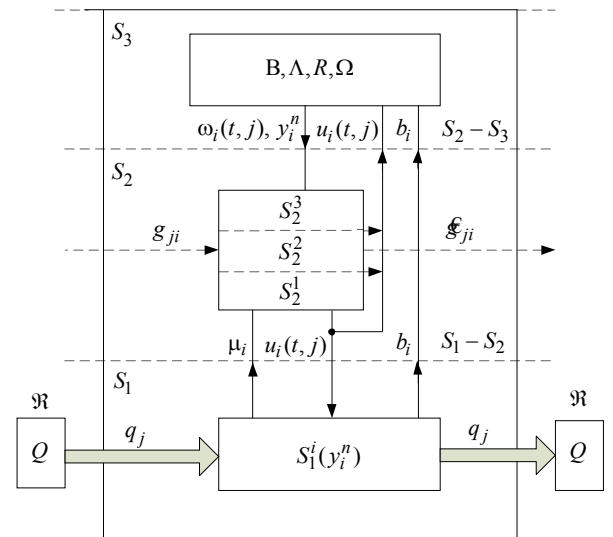


Рисунок 2 - Стратифікація АСК гіркою

ність (пропускна здатність, ємність) і повні проектні витрати.

В дисертації вперше розроблено наукові основи концептуальної схеми системної інтеграції КСІ (Ξ), яка об'єднує набір ресурсоощадних моделей і методів пошуку раціональних проектних рішень і оцінки техніко-експлуатаційних характеристик АСК ТП СС в процесі їх побудови або вдосконалення. КСІ містить розроблені в дисертації концептуальні, структурні, функціональні, інформаційні, графові, аналітичні моделі і ресурсоощадні методи рішення задач. Загальна структура КСІ наведена на рис. 3.

В третьому розділі розробляються ресурсоощадні методи формування раціональних варіантів інформаційно-функціональних і технічних структур децентралізованих інформаційно-плануючих і керуючих систем сортувальних станцій.

Для дослідження основних функцій і формування інформаційних структур децентралізованих інформаційно-плануючих і керуючих систем сортувальних станцій запропонована інформаційна мета-модель, названа М-моделлю. Вона дозволяє формально описати всі інформаційні потоки без прив'язки до технічних засобів і існуючих структур обміну даними на станціях, тобто в інформаційній мета-системі (ІМС). В ІМС (див. рис. 4) є джерела інформації, приймачі і транзитні вершини - вузли U . Вузли зв'язані лінками L^0 -віртуальними інформаційними каналами, по яких передаються роути R^0 . Задача оптимізації розподілу інформаційних потоків в автоматизованій системі формулюється наступним чином. Для заданого орієнтованого реберно-зваженого мультиграфа $G = (U, L^0, R^0)$, у якого $\forall i = 1, 2, \dots, N_R, T_i = \emptyset$ та $N_R \geq N_L$, знайти такий мінімально зв'язний граф $G^* = (U, L^*, R^*)$, щоб

$$\left[\sum_{r_i^* \in R^*} p_i \times (|T_i^*| + 1) + \sum_{r_j^* \in R^*} p_j \right] - \sum_{r_i \in R^0} p_i \rightarrow \min.$$

При цьому задані наступні обмеження: $R^* = \{r_i^*\}_{i=1, \overline{N_i}}$ та $N_i + N_j = N_R$ (роути не розчіплюються), де $r_i^* = \{o_i, d_i, p_i, T_i^*\}$, $T_i^* \neq \emptyset$ (поток не змінюється за величиною), причому

$N_{T_i^*} \leq N_U - 2, \forall i = 1, \overline{N_i}$ (роути не створюють циклів). Фактично, сформульована задача структурної оптимізації М-моделі полягає в мінімізації приросту сумарного інформаційного потоку в системі з формуванням структури у вигляді максимального кістякового дерева. Постановка задачі дозволяє не лише отримати структуру з мінімальною кількістю каналів, але й усунути дублювання інформаційних потоків, підвищити достовірність інформаційного обміну в системі, що проектується або вдосконалюється.

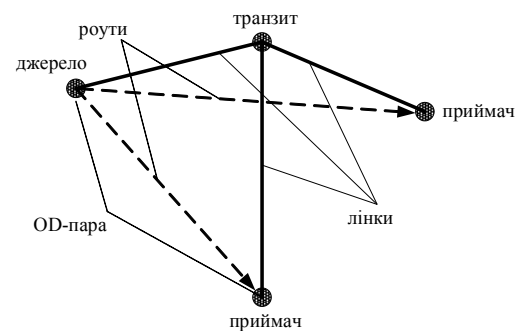
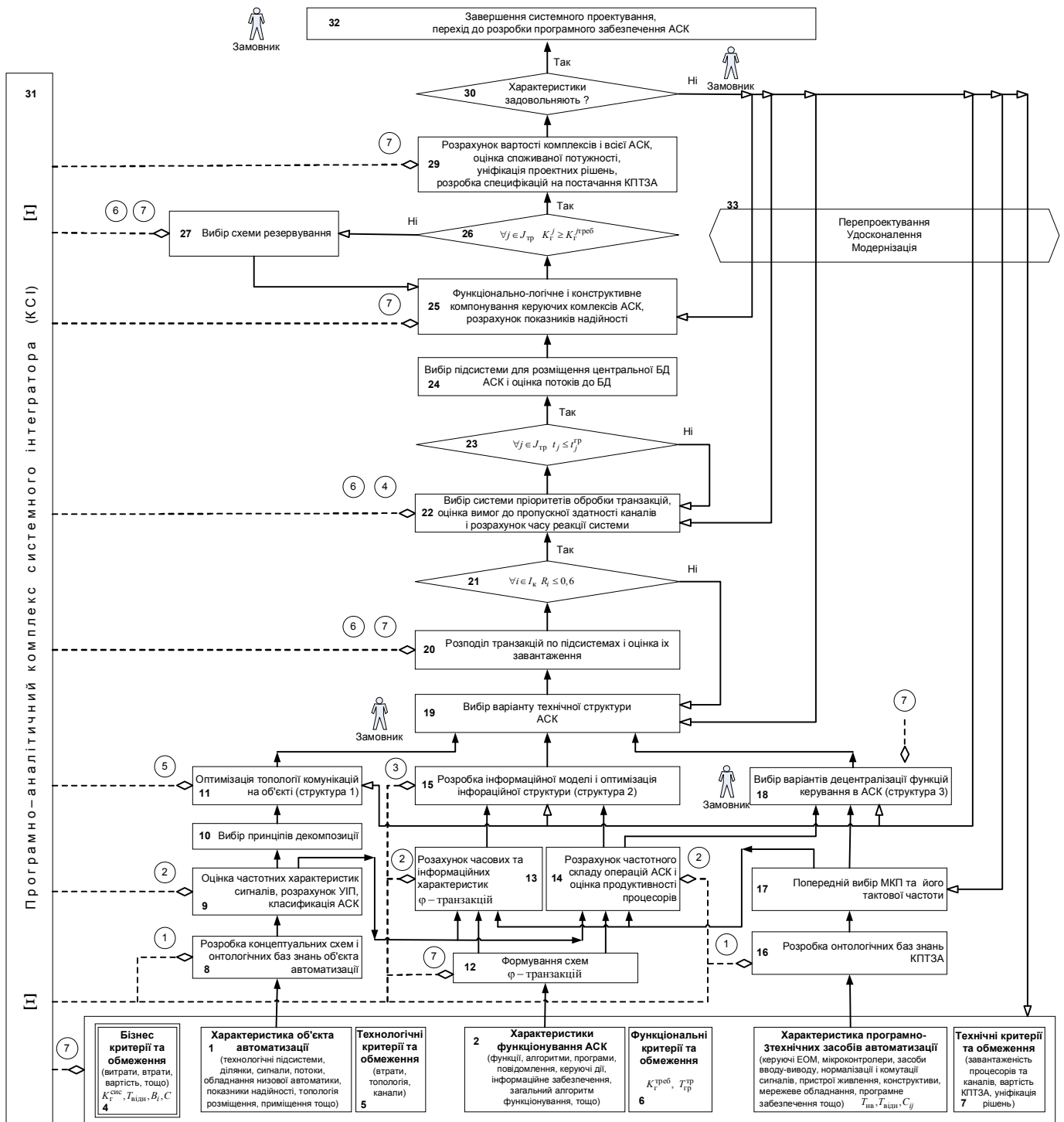


Рисунок 4 - Інформаційна мета-система



- Позначення
- Послідовно-паралельні процеси аналізу і проектування АСК
 - ➔ Напрямки перепроєктування, удосконалення, модернізації
 - ◊ Використання інструментальних засобів автоматизації
- | | | |
|-----------------------------|----------|---------------------|
| ① Protege | ④ PRIORY | ⑦ Аналітика (Excel) |
| ② CSProject | ⑤ CSI | |
| ③ GAOSIS, ОПТИКОС, OPTIFLOW | ⑥ JMT | |

Рисунок 3 - Концептуальна схема системної інтеграції КСІ

Методика використання М-моделі входить до наукового комплексу КСІ. В дисертації основні її етапи проілюстровані на прикладі дослідження інформаційно-плануючої системи (ІПС СС) для сортувальної станції Орехово-Зуєво (Росія). Для цієї станції розроблені 6 М-моделей повних інформаційних потоків для загально-станційного рівня (2 схеми), для парку відправлення, району місцевої роботи, районів сортувальної гірки і сортувального парку. Ці М-моделі були структуровані у 38 основних функціональних підмоделей, на основі яких запропонована ієрархічна децентралізована структура ІПС СС (рис. 5). На рисунку використовуються позначення підсистем: УРС - управління роботою станції; УСР - управління сортувальною роботою; УМР - управління місцевою роботою; УПМР/ПП, УПМР/ПВ - управління поїзною і маневровою роботою в парках прийому і відправлення. Розрахунки ефективності системи ІПС СС, виконані у ВНДІЗТ (Москва) показали, що впровадження системи дає вивільнення вагонного парку до 227 вагонів/годину. Отримані результати можна використовувати в процесі дослідження шляхів вдосконалення функцій системи або при розробці нових технічних структур АСК.

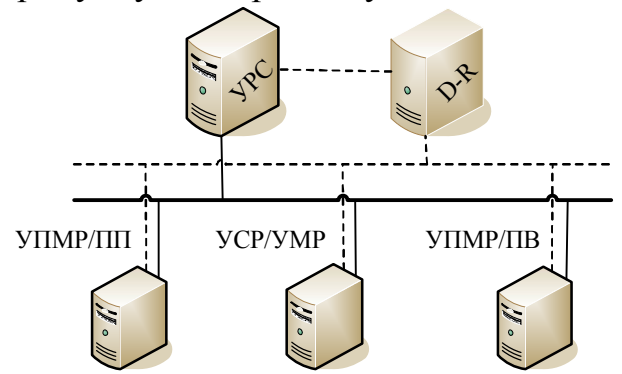


Рисунок 5 - Технічна структура ІПС СС

Оскільки час пошуку оптимальних рішень шляхом направленого перебору, при кількості вузлів більше 10, сягав десятків годин, в дисертації були запропоновані два вдосконалені генетичні алгоритми для формування раціональних варіантів інформаційних структур.

Запропонований критерій синтезу структури - мінімізація кількості каналів, які забезпечують передачу усіх потоків в системі та мають мінімальний сумарний приріст інформаційних потоків при мінімальній довжині каналів. Це забезпечує отримання і більш високих показників надійності передачі даних, адже в структурі формуються ланцюжки проходження потоків мінімальної довжини.

Для реалізації генетичного алгоритма було запропоновано використовувати лінійні оптимізовані хромосоми і нормалізовану фітнес-функцію. В роботі обґрунтовано вибір типів операторів генетичного алгоритма, критерію зупинки пошуку, налаштування параметрів генетичного алгоритма і виконано аналіз ефективності його програмної реалізації. На рис. 6 показано зростання пристосованості при оптимальному розрахунку ймовірності одиничного біту, яка обчислюється за формулою:

$$p_1 = \frac{n-1}{Lc} = \frac{n-1}{n \cdot (n-1)} = \frac{2}{n}, \text{ де } n - \text{кількість вершин графу (вузлів).}$$

Другий генетичний алгоритм зорієнтований на пошук "зіркоподібних" структур інформаційних систем з використанням кодування Прюфера. Це дозволяє прискорити процес пошуку раціональних кістякових дерев за описаними вище критеріями. Особливістю алгоритма є використання бібліотеки GAtools пакету MATLAB. В дисертації представлені розроблені і реалізовані основні алгоритми: кодування-

декодування дерев числами Прюфера, ініціалізації популяції, кросинговеру, мутації і розрахунку функції пристосованості.

Розроблені моделі і методи орієнтовані на дослідження інформаційно-функціональних структур і отримання структур АСК, які забезпечують раціональне використання інформаційних ресурсів систем: мінімізують зростання інформаційних потоків, скорочують кількість каналів інформаційного обміну між підсистемами, підвищують надійність системи за рахунок скорочення маршрутів передачі даних. Однак, вони не враховують

витрати на технічне забезпечення, втрати через ненадійність технічних структур автоматизації тощо. Зазвичай, питання постає в прикладній площині: будувати централізовані системи чи децентралізовані, і в якій мірі (скільки доцільно мати підсистем)? Як показали дослідження, на сортувальних гірках їх кількість може сягати декілька десятків. Тому в дисертації розроблені ресурсощадні методи для дослідження умов доцільності децентралізації функцій керування в системах гіркової автоматики.

На рис. 7 показано децентралізовану ієрархічну систему з КеОМ верхнього рівня F_{11} і n локальними мікроконтролерними підсистемами F_1, \dots, F_n , які обслуговуються в режимі розподіленого часу (це місцеві регулятори - МР). Розглянемо ситуацію відмови апаратури в k -й інтервал часу і її відновлення через час $T_{\text{відн}}$. Будемо

вважати, що для кожного випадку ми можемо отримати експертні оцінки втрат: B^* - втрати в одиницю часу, коли гірка не працює; B_1 - втрати в одиницю часу, коли в централізованій системі не працює КеОМ (неоптимальне керування); B_2 - втрати в одиницю часу, коли в ієрархічній системі не працює КеОМ (неоптимальне керування); b_i^* - втрати в одиницю часу, коли не працює i -ий контур керування, b_i - втрати в одиницю часу при неоптимальному значенні ефективності i -го контура. Втрати нормалізуємо $\delta_1 = (B^* - B_1)/B^*$, $\delta_2 = (B^* - B_2)/B^*$. Тоді можна вивести повні нормалізовані втрати для централізованої (1) і децентралізованої (2) системи:

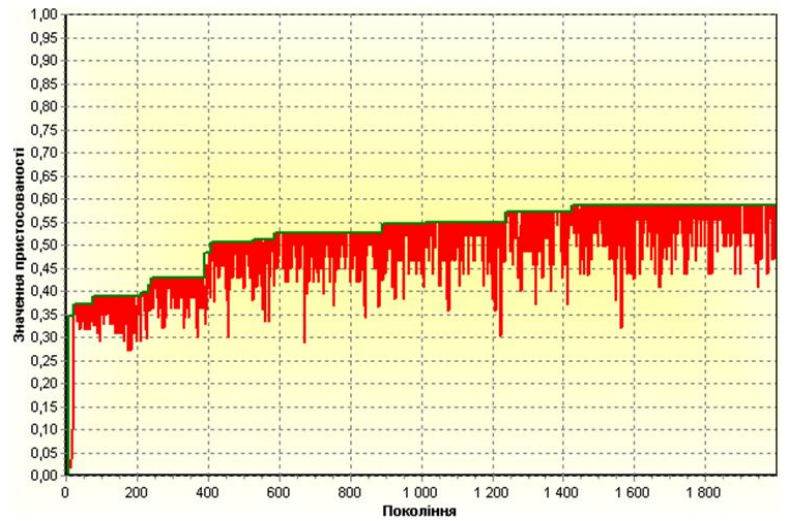


Рисунок 6 - Зростання пристосованості при оптимальному розрахунку ймовірності біту

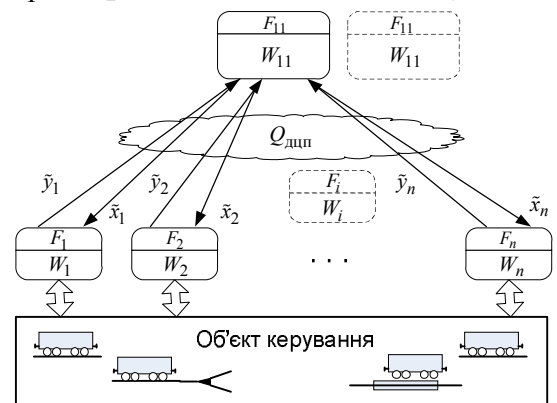


Рисунок 7 - Децентралізована ієрархічна система керування

$$\tilde{P}_1 = \frac{P_1}{B^*} = \frac{(1 - K_0)(1 + r(\delta_1 - 1))}{K_0} + \frac{C_0^{\text{II}}}{B^*}, \quad (1)$$

$$\tilde{P}_2 = \frac{P_2}{B^*} = \frac{\delta_2(1 - K_0)}{K_0} + \frac{(1 - \alpha K_0)(1 + r(\delta_1 - 1))}{\alpha K_0} + \frac{C_0^{\text{III}} + nc_n}{B^*}, \quad (2)$$

де $C_0^{\text{II}}, C_0^{\text{III}}, c_i$ - вартість КеОМ відповідно в централізованій системі, в децентралізованій (ієрархічній) системі і вартість мікроконтролерної системи i -го локального регулятора; K_0 - коефіцієнт готовності КеОМ в централізованій системі; r - доля $T_{\text{відн}}$, коли система знаходиться в робочому режимі; α - коефіцієнт обчислення коефіцієнта готовності мікроконтролерного місцевого регулятора; n - кількість МР.

На рис. 8 побудовані графіки $\tilde{P}_1 = f_1(K_0)$ і $\tilde{P}_2 = f_2(K_0)$ при $r = 0,9$ і $\alpha = 1,1$, які показують, що із зростанням коефіцієнта готовності втрати в ієрархічній децентралізованій системі в порівнянні з централізованою зменшуються. З (2) витікає, що втрати в ієрархічній системі лінійно залежать від числа і вартості локальних мікроконтролерних регуляторів. При заданих показниках надійності (K_0, α) і вартості підсистем в технічній структурі системи управління ($C_0^{\text{II}}, C_0^{\text{III}}$ і c_n) число контурів локального керування n може бути вибране на підставі рішення рівнянь (1) і (2). В дисертації отримані рівняння і побудовані площини рівних втрат централізованих і ієрархічних АСК при різних значеннях параметрів, які можна використовувати як автономно, так і у складі комплексного підходу КСІ.

Оскільки розглянутий ресурсощадний метод оперує тільки втратами в технологічному процесі через відмову устаткування, які визначаються експертним шляхом, в ній не враховуються складність вирішуваних задач і потрібні обчислювальні ресурси, а також їх розподіл в ієрархічній АСК. Тому в дисертації розроблено метод вибору технічних структур керуючих систем сортувальних гірок за критерієм ефективного використання обчислювальних ресурсів.

В основі метода лежить відомий закон Гроша, що пов'язує вартість обчислювальних ресурсів з їх продуктивністю $C_0 = k_0 W^{g_1}$, де C_0 - вартість ресурсів (дол.), k_0 - коефіцієнт пропорційності, $g_1 = 0,5$, W - продуктивність в MIPS (Million Instruction per Second). В такому випадку, перехід від централізованої структури до децентралізованої

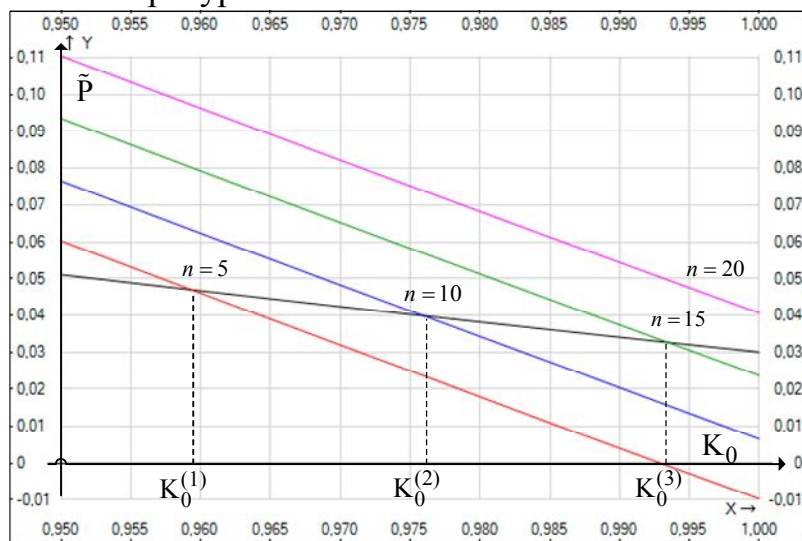


Рисунок 8 - Залежність зміни ефективності систем від надійності КеОМ і локальних регуляторів

пов'язаний з наступними перетвореннями (див. рис. 7):

$$Q_{\text{дцп}} = \tilde{Y} \cup \tilde{X}, \quad \tilde{Y} = \{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n\}, \quad \tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n\},$$

$$Q_{\text{дцп}} < Q_0, \quad W_0 = W_{11} + \sum_{i=1}^n W_i,$$

де Q_0, W_0 - відповідно міжрівневі інформаційні потоки і потрібна обчислювальна потужність в централізованій системі.

Для порівняльної оцінки структур будемо використовувати співвідношення вартості децентралізованих/централізованих систем або показник ефективності обробки даних $E_0 = \frac{C_{\text{дц}}}{C_{\text{ц}}}$. З урахуванням різних аспектів функціонування АСК були отримані наступні аналітичні моделі.

1) Модель обробки даних $E_0 = \frac{C_{\text{дц}}}{C_{\text{ц}}} = k_{21} \sqrt{n} \sqrt{1 - k_d} + \sqrt{k_d}$, де $g_1 = 0,5$; k_d - кое-

фіцієнт частки потужності, віднесеної до верхнього рівня; $k_{21} = \frac{k_2}{k_1}$ - відношення ко-

ефіцієнтів закону Гроша для нижнього і верхнього рівнів цифрової керуючої системи (ЦКС).

2) Модель даних обробки і передачі потоків між рівнями в ієрархічній струк-

турі $E_{\text{о/п}} = \frac{C_{\text{дц}} + C_{\text{п}}}{C_{\text{ц}} + C_{\text{п}}} = \frac{k_{21} \sqrt{n} \sqrt{1 - k_d} + \sqrt{k_d} + k_{\text{п/о}}^{\text{ц}} \sqrt{f_{\text{дцп}}}}{1 + k_{\text{п/о}}^{\text{ц}}}$, де $f_{\text{дцп}}$ - коефіцієнт пони-

ження інформаційних потоків при переході на децентралізовану обробку, $k_{\text{п/о}}^{\text{ц}}$ опи-
сєє відношення витрат на потужності передачі до витрат на потужності обробки в
централізованій ЦКС (на практиці $k_{\text{п/о}}^{\text{ц}} = 4$). При $E_{\text{о/п}} = 1$, $y = k_{21} \sqrt{n}$, $k_{\text{п/о}}^{\text{ц}} = 4$ отри-

маємо наступну залежність y від k_d і $f_{\text{дцп}}$: $y = \frac{5 - \sqrt{k_d} - 4\sqrt{f_{\text{дцп}}}}{\sqrt{1 - k_d}}$ (див. рис. 9). Об-

ласть над площиною відповідає кращим варіантам централізованих ЦКС, під пло-
щиною - децентралізованим системам. При зниженні $f_{\text{дцп}}$ від 1 до 0 межі децентра-
лізованих систем розширюються. При незначному зменшенні $f_{\text{дцп}}$ в області $k_d = 1$
діапазон для децентралізованих систем різко знижується. Таким чином, розширен-
ню області децентралізованих систем сприяють зменшення y (або n), збільшення k_d
і зниження $f_{\text{дцп}}$. Перехід до децентралізованих систем зменшує не лише потоки, але
й навантаження на КеОМ завданнями диспетчеризації.

3) Модель врахування диспетчеризації при виборі структур

$E_{\text{дисп}} = \frac{C_{\text{о}}^{\text{дц}}}{C_{\text{дисп}}^{\text{ц}}} = \frac{k_{21} \sqrt{n} \sqrt{1 - k_d} + \sqrt{k_d}}{\sqrt{f_{\text{дисп}}}}$, де $f_{\text{дисп}} \geq 1$.

4) Модель врахування резервування підсистем (в централізованій структурі - дублювання КеОМ, в децентралізованій - ковзний резерв, $k_{рез} = 2$)

$$E_{рез/о} = \frac{C_{рез}^{дц}}{C_{рез}^{ц}} = \frac{k_{21}}{\sqrt{n}} * \sqrt{1 - k_{д}} + \sqrt{k_{д}}.$$

5) Інтегральна модель вибору структури $E_{інт} = \frac{C_{дц}^{дц} + C_{п}^{дц} + C_{рез}^{дц}}{C_{дисп}^{ц} + C_{п}^{ц} + C_{рез}^{ц}}$. Зробивши пі-

дстановки і для $E_{інт} = 1$, отримаємо рівняння площини (див. рис. 10)

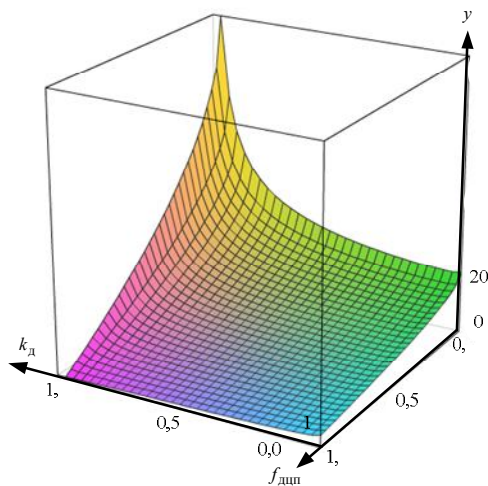


Рисунок 9 - Гранична площина ц/дц ЦКС

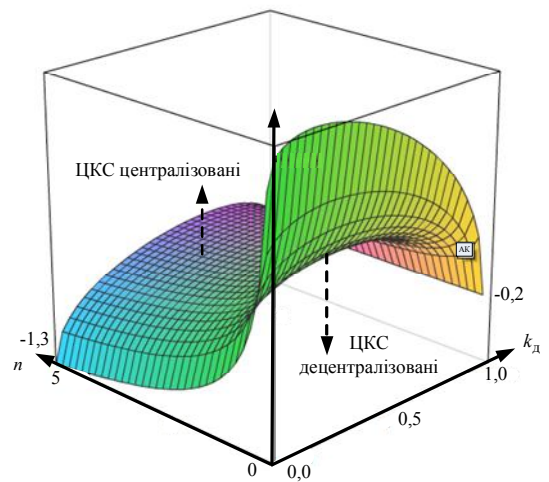


Рисунок 10 - Інтегральна площина переваг ц/дц ЦКС

$$(1 + k_{д})(\sqrt{k_{д}} - \sqrt{f_{дисп}}) + k_{п/о}^{ц}(\sqrt{f_{дисп}} - 1) + k_{21}\sqrt{1 - k_{д}}(1 + \frac{k_{рез}}{\sqrt{n}}) = 0. \quad (3)$$

Отриманий вираз дозволяє визначити при заданих параметрах функціонування область переваги децентралізованих ЦКС, яка збільшується при зниженні кількості підсистем на нижньому ярусі n і зменшенні їх потужності ($k_{д} \rightarrow 1$).

Описані аналітичні залежності лише опосередковано, через коефіцієнт $k_{п/о}^{ц}$, враховують питання топології розміщення технологічних об'єктів на сортувальній станції. Тому в дисертації запропоновано ще один ресурсощадний метод оцінки витрат на побудову розподілених керуючих систем, де враховуються витрати на децентралізовану обробку $C_n^{обр}$, відносні витрати на кабель $C_n^{каб}$ і на централізовану обробку C_1 (див. рис. 11). В моделях m - кількість точок автоматизації. Для сортувальних гірок, залежно від колійного розвитку, кількість таких точок коливається від 321 до 850. Отримані результати показують, що мінімуму витрат відповідає 4-5 підсистем ($n = 4-5$), тобто в ієрархічній структурі одна координуюча підсистема - на верхньому рівні, і на нижньому рівні - 3 або 4 технологічні підсистеми. Ці результати підтверджують отримані дані за допомогою інших аналітичних моделей, що підтверджує коректність побудови моделей і можливість їх практичного застосування в процесі створення нових і вдосконалення існуючих ЦКС на сортувальних гірках.

В четвертому розділі розроблені моделі і методи інтегральної оцінки інформаційно-часових експлуатаційних характеристик і вдосконалені методи формування пріоритетів в системах керування реальним часом сортувальних станцій.

Оснoву всіх розрахункових моделей складає запропонована графоаналітична модель - φ -транзакція, як основний інструмент описання процесів функціонування систем керування реальним масштабу часу.

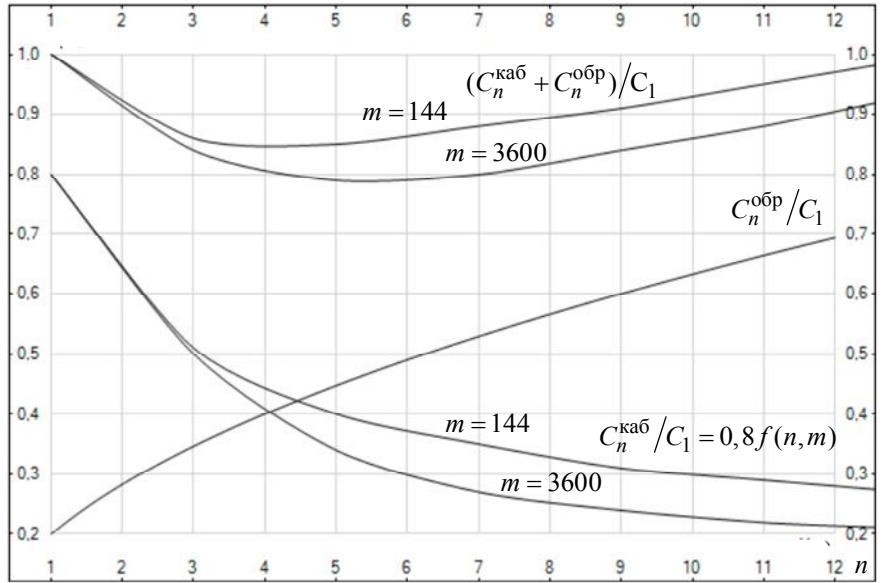


Рисунок 11 - Графічні визначення

$$\min \left\{ (C_n^{\text{каб}} + C_n^{\text{обр}}) / C_1 \right\}$$

φ -транзакція - це логічно об'єднана послідовність функціонально-алгоритмічних і програмних блоків операцій (далі - ФПБ), яка обробляється цілком від моменту появи в керуючій системі події, що вимагає обробки ($E = E^w \cup E^{sys} \cup E^{timer}$), до моменту завершення її обробки з видачею повідомлення і/або керуючої дії на пристрої об'єкту керування. φ -транзакція повинна володіти властивостями ACID: атомарності (atomicity), узгодженості (consistency), ізоляції (isolation) і стійкості (durability). Від відомих визначень транзакції запропонована модель відрізняється розширеним описом, необхідним для розрахунку характеристик АСК на ранніх стадіях їх створення, яке включає для множини Φ φ -транзакцій, які обробляються системою: опис основних масивів бази даних, що використовуються при виконанні φ -транзакцій, $M (\forall m_i \in M \{O_i\}$, де $O_i, i \in \overline{1, |M|}$ - розмір масиву або об'єм пам'яті в байтах); опис множини подій E , які вимагають реакції системи керування, тобто запуску φ -транзакцій ($\forall \varphi_j \in \Phi \{s_j, \lambda_j\}$, де $s_j \in S_o$ - множина вхідних сигналів і повідомлень, пов'язаних з відповідними подіями E , λ_j - середня інтенсивність запуску j -ї φ -транзакції); опис множини умов і вимог успішного завершення φ -транзакцій $\forall \varphi_j \in \Phi \forall d_k \in D \{op_{kj}, Q_{kj}, K_{kj}^r, t_{kj}^{rp}\}$, де d_{kj} - k -й приймач інформації від j -ї φ -транзакції, $op_{kj} = \{\text{видати повідомлення } msg_{kj} \in Msg^{out}, \text{ видати керуючу дію у вигляді сигналу } s_{kj} \in S^{out}, \dots\}$, Q_{kj} - об'єм інформації в байтах, що передається k -му приймачу від j -ї φ -транзакції, K_{kj}^r - коефіцієнт готовності і t_{kj}^{rp} - граничний час виконання φ -транзакції j для k -го приймача; опис кожного ФПБ, який входить до складу системи: $\forall \phi_l \in \Phi ПБ \forall m_i \in M \forall com_n \in \square \{k_{i,l}, op_{i,l}, K_{nl}\}$, де

$\Phi_{ПБ} = \{\phi_l | l \in \overline{1, |\Phi_{ПБ}|}\}$ множина ФПБ системи, $M = \{m_i | i \in \overline{1, |M|}\}$ - множина масивів бази даних, $\square = \{com_n | n = \overline{1, |\square|}\}$ - множина типів команд в суміші команд системи, що проектується, або мікс (mix), $0 \leq k_{i,l} \leq 1$ - коефіцієнт, що показує яка частина масиву i використовується при одному виконанні ФПБ l); $op_{j,l,i} = \{чт, зп\}$ - операції з пам'яттю i при виконанні l -го ФПБ в j -й ϕ -транзакції, K_{nl} - кількість команд типу n в l -му ФПБ.

Загальний вигляд ϕ -транзакцій і приклад опису системи, що створюється, показані на рис. 12.

Виконаний аналіз досліджень потоків заявок на обслуговування на сортувальній гірці показав, що він є пуассонівським потоком і його стаціонарне значення можна вираховувати за формулою $\lambda_{ст} = \Lambda_0 K_0$, де Λ_0 - інтенсивність надходження відчепів на спускную частину гірки; K_0 - середньозважена кількість вісей у відчепі.

В дисертації запропонована низка аналітичних моделей для обрахування експлуатаційних характеристик АСК сортувальними гірками (рис. 3).

Пропонуються два способи оцінки швидкодії мікропроцесорів - середня швидкодія i -ї моделі на суміші завдань системи \tilde{W}_i і середня швидкодія i -ї моделі на суміші ϕ -транзакцій системи керування, що створюється, \tilde{W}_i^ϕ .

Швидкодія на частотній суміші команд при побудові системи для заздальгідь обраного i -го типу МКП обчислюється таким чином: $\tilde{W}_i = \left(\sum_{n=1}^{|\square|} \xi_n \tau_{ni} \right)^{-1}$, де ξ_n - частота або ймовірність появи операції n в процесі функціонування системи; τ_{ni} - середній час виконання команди n на мікропроцесорі i -го типу; одиницею вимірювання швидкодії є кількість операцій на суміші завдань системи за секунду - оп/с (або MIPS).

Значення ξ_n обчислюється як $\xi_n = K_n / \sum_{h=1}^{|\square|} K_h$. Тут K_h - кількість команд h -го типу, які обробляються системою в процесі виконання ϕ -транзакцій. K_h обчислюється за формулою (4) з урахуванням даних K_{nl} для кожного ФПБ і структури всіх ϕ -транзакцій, що обробляються, з урахуванням інтенсивностей їх запуску, описаних на рис. 12:

$$\forall h \in \square \quad K_h = \sum_{\forall \phi_j \in \Phi} \lambda_j * \sum_{\forall \phi_l \in \phi_j} k_{lj} * K_{hl}. \quad (4)$$

В формулі (4) $0 < k_{lj} \leq 1$ - коефіцієнт, що враховує зниження кількості операцій в ϕ -транзакції j в ФПБ l за рахунок попередніх розгалужень і циклів (у зваженому графі). Цей коефіцієнт обчислюється в процесі перетворення структури і обчисленні характеристик ϕ -транзакцій.

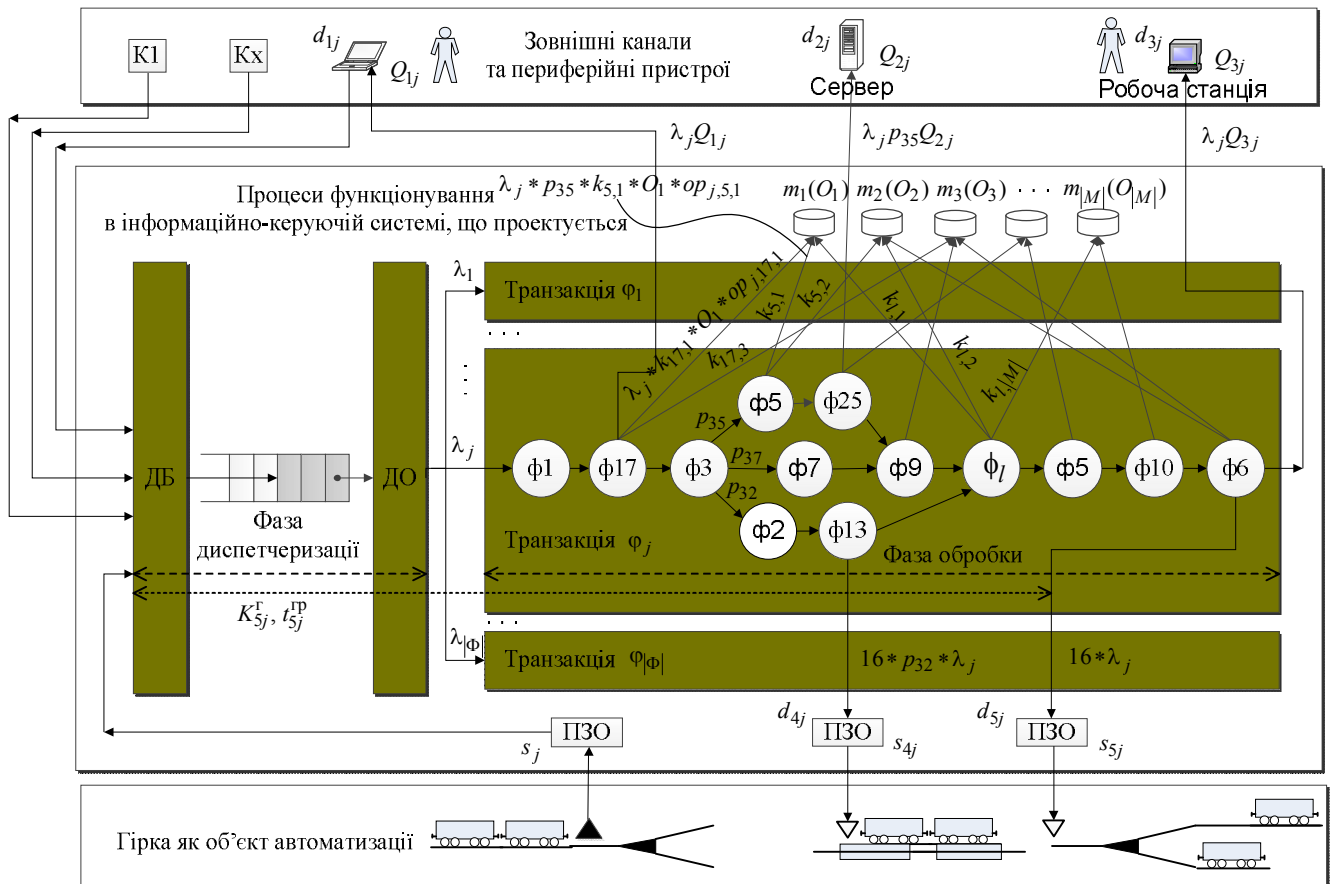


Рисунок 12 - φ-транзакції в системах автоматизації сортувальних станцій

Отримана середня швидкодія i -ї моделі на суміші завдань майбутньої системи \tilde{W}_i використовується в запропонованій концептуальній схемі КСІ (рис. 3) для порівняння різних типів МКП при їх виборі, а також для ресурсоощадних методів пошуку раціональних структур децентралізованих систем керування сортувальною гіркою.

Для сервіс-орієнтованих систем реального масштабу часу, в яких встановлено обмеження на час реакції або час обслуговування кожної φ-транзакції, пропонується обчислювати середню швидкодію i -ї моделі на суміші φ-транзакцій, або \tilde{W}_i^ϕ , яке вимірюється в кількості оброблюваних середньозважених φ-транзакцій за секунду ("φ – tps" - φ-transaction per second) або за хвилину - "φ – tpm". Для цього скористаємося виразом (5):

$$\tilde{W}_i^\phi = \frac{|\Phi| \sum_{j=1} \lambda_j}{\sum_{j=1} \lambda_j T_{ji}} \quad (5)$$

У даній формулі, оскільки повинна виконуватися умова (6) для обраного i -го типу МКП (або тактової частоти),

$$\forall j \in |\Phi| \quad T_{ji} \leq t_j^{rp}, \quad (6)$$

то за (5) можна провести вибір для проекту такого типу МКП мінімальної продуктивності (і вартості), при якому виконується (6).

Знання розробником в процесі побудови системи керування реальним часом значень $\forall j \in |\Phi| T_{ji}$ дозволяє для обраного i -го типу мікропроцесора оцінити, яку частку завантаження процесора дає надання j -го сервісу (виконання j -ї ϕ -транзакції),

$$\rho_{ji} = \lambda_j T_{ji} \quad \text{і} \quad \forall j \in |\Phi| \quad \rho_{ji} \leq 0,6. \quad (7)$$

Виконуючи розподіл ϕ -транзакцій, що обробляються, по отриманих в результаті структурної оптимізації підсистемах (див. опис КСІ), необхідно стежити, щоб в проекті загальне завантаження сервісами кожної підсистеми $f_p \in F$ не перевищувало допустимої межі (для процесорів це 0,6), тобто $\forall f_{pi} \in F_i \quad R_{pi} \leq 0,6$.

Іноді встановлюють і нижню межу завантаження (8) з метою ефективного використання обчислювальних ресурсів і зниження загальної вартості ЦКС:

$$\forall f_{pi} \in F_i \quad 0,1 \leq R_{pi} \leq 0,6. \quad (8)$$

Побудова ϕ -транзакцій дозволяє оцінити ряд інших дуже важливих для АСК характеристик, зокрема тих, що пов'язані з інформаційними потоками в майбутній системі. У АСК виділятимемо три типи інформаційних потоків: потоки повідомлень (msg), потоки керуючих дій (сигналів, s_k) і потоки на читання і запис інформації з/до масивів бази даних.

Інформаційний потік повідомлень, що формується кожною ϕ -транзакцією j , і передається на периферійний пристрій d_k : $\pi_{jd_k}^{msg} = \sum_{\forall \phi_l \in \Phi_j \wedge \exists d_k} \lambda_j \hat{p}_{jl} Q_{ld_kj}$. Загальний сумарний потік повідомлень на приймач d_k в процесі роботи системи склада-

тиме $\Pi_{d_k}^{msg} = \sum_{j=1}^{|\Phi|} \pi_{jd_k}^{msg}$. У ϕ -транзакціях можуть формуватися потоки керуючих дій, або сигналів s_k , які виводяться через пристрої зв'язку з об'єктом (ПЗО) на устаткування об'єкта керування. Для однієї j -ї транзакції і при кодуванні однієї дії 2-ма байтами (16 біт) вони складуть $\pi_{s_{kj}} = \sum_{\forall \phi_l \in \Phi_j \wedge \exists s_k} 16 \lambda_j \hat{p}_{jl}$. У системі в цілому потік сиг-

налів s_k складатиме $\Pi_{s_k} = \sum_{j=1}^{|\Phi|} \pi_{s_{kj}}$. Потоки інформації, пов'язані з читанням/записом

даних з/до масиву i , при виконанні j -ї транзакції можна обчислити таким чином: $\pi_{ji}^{чт/зп} = \sum_{\forall \phi_l \in \Phi_j} \lambda_j \hat{p}_{jl} k_{j,l,i} O_{i} op_{j,l,i}$. Сумарний інформаційний потік до масиву i в про-

цесі роботи системи можна обчислити за формулою $\Pi_i^{\text{чт/зп}} = \sum_{j=1}^{|\Phi|} \pi_{ji}^{\text{чт/зп}}$. Загальний

інформаційний потік до всіх масивів або потік до центральної бази даних АСК скла-

$$\text{датиме } \Pi_M^{\text{чт/зп}} = \sum_{i=1}^{|M|} \Pi_i^{\text{чт/зп}}.$$

Для обрахування транзакцій в дисертації вдосконалена методика перетворення зважених графів і оцінки математичного очікування часу їх виконання

$$T_n = \left(A + \sum_{i=1}^n p_i T_i \right) / \left(1 - \sum_{i=1}^n p_i \right), \text{ де } p_i - \text{ ймовірність, } T_i, A - \text{ час виконання } i\text{-го ФПБ і}$$

ФПБ А.

В дисертації вдосконалені моделі для вибору пріоритетів, що базуються на понятті ф-транзакція, які можуть проходити обробку в мережевій структурі Ке-ОМ/мікроконтролерів. Моделі дозволяють обрати дисципліну обслуговування безпріоритетну, з відносними пріоритетами, з абсолютними і змішаними пріоритетами за трьох етапною схемою, яка має лінійну модель, оптимальну модель і інтерактивний вибір пріоритетів. Моделі дозволяють вирахувати середній час очікування ф-транзакції в черзі, середній час перебування заявки в підсистемі, вимоги до пропускнуої здатності каналів з урахуванням обмежень на час обробки ф-транзакції. Всі моделі і методи реалізовані в програмних модулях PRIORY і CSI.

Оскільки в процесі створення або вдосконалення децентралізованих функціонально та територіально розподілених систем досить складним і важливим, з точки зору формування вимог до АСК, є представлення загального алгоритму функціонування багатомашинної системи, а використання стандартних нотацій є ускладненим і надлишковим, в дисертації запропоновані принципи побудови функціонально-часових діаграм (ФЧД) для опису станційних систем автоматизації.

В п'ятому розділі дисертації запропоновано науковий підхід до оцінки потрібних рівнів функціональної надійності АСК сортувальних гірок, які забезпечують потрібне зростання переробної спроможності гірки, і удосконалені математичні моделі для дослідження впливу діагностики збоїв в роботі розподілених систем на показники їх надійності, а також математичні моделі з нечіткими параметрами і методи оцінки на їх основі надійності станційних систем.

В роботі запропоновано метод оцінки надійності автоматизованих систем керування на ранніх стадіях проектування на прикладі АСК маршрутами руху на гірці (АСК МР) для варіантів структур КеОК без резервування і з резервом для послідовного і паралельного розпуску (див рис. 13). Елементи структури: ТК1, ТК2 - мікроЕОМ (МККеОК) верхнього рівня управління, які виконують функції зв'язку з АСК СС і терміналами системи («термінальні» комплекси); РС1, РС2 - МККеОК нижнього рівня керування, що виконують технологічні функції з контролю розчеплення і керування маршрутами руху на гірці (комплекси «розчеп-скачування»); СК1-1, СК1-2, СК2-1, СК2-2 - МККеОК введення і попередньої обробки дискретних сигналів («скануючі» комплекси). Метод спирається на наступні положення. 1) Перелік

функцій Φ_j АСК МР, для яких задаються та обчислюються показники надійності, відповідає ТЗ і представлений набором: Φ_1 - «Підготовка до розпуску»; Φ_2 - «Контроль розчеплення»; Φ_3 - «Контроль і управління маршрутами руху відчепів»; Φ_4 - «Інформаційне забезпечення операторів»; 2) При виконанні функцій Φ_j вирішуються наступні технологічні завдання (F_i): в Φ_1 - «Обмін інформацією з АСК СС» (F_1), «Підготовка до розпуску» (F_2); в Φ_2 - «Контроль розчеплення» (F_3); в Φ_3 - «Оперативна заміна маршруту» (F_4), «Контроль пересування» (F_5), «Керування стрілочними переводами» (F_6). 3) В якості показника надійності системи досліджується ймовірність безвідмовного виконання функції Φ_j за час розпуску одного составу $t_0^{(*)}(P(t_0))$. 4) Залежність підвищення переробної спроможності гірки від функцій, що автоматизуються, визначалася експертним шляхом з використанням результатів досліджень УВ ВНДІЗТа.

Основною метою була перевірка достатності вимог, сформульованих на етапі розробки ТЗ, і уточнення рівнів надійності виконання окремих технологічних завдань, що забезпечують задану переробну спроможність. В роботі була отримана формула, що зв'язує інтенсивність відмов λ_i і час відновлення працездатності після відмов T_{Vi} при виконанні i -ї задачі з переробною здатністю гірки Y :

$$Y = \sum_i y_i \lambda_i T_{Vi} + y_0 (1 - \sum_i \lambda_i T_{Vi}).$$

Оскільки на етапі ТЗ практично неможливо оцінити кількісно ступінь впливу відмов однієї функції на реалізацію інших, в роботі прийнято припущення про те, що при відмові одного із завдань продуктивність гірки знижується на повну частку приросту переробної спроможності, одержувану в результаті автоматизації виконання даного завдання. Тоді $y_i = y_0 - \Delta y_i$, де y_0 - переробна спроможність гірки, обладнаної

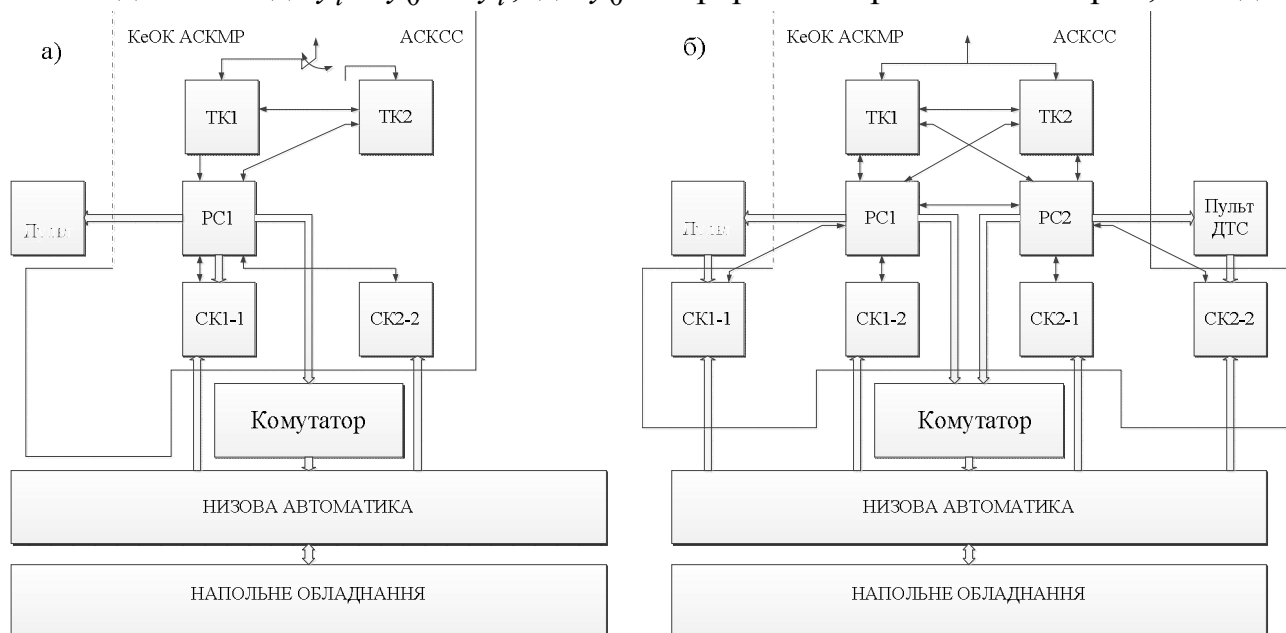


Рисунок 13 - Варіанти структур КеОК з резервуванням для керування послідовним (а) і паралельним (б) розпуском

АСК МР, у справному стані; Δy_i - приріст переробної спроможності гірки, який отримується у результаті автоматизації виконання i -ї задачі (див. рис. 14).

Для кількісної оцінки ступеня впливу кожної з відмов на загальну переробну спроможність гірки вироблялося варіювання інтенсивності відмов в околиці деякого основного рівня λ_{i0} . Основний рівень визначався виходячи з вимог до надійності

виконання окремих функцій, сформульованих на етапі розробки ТЗ, тобто $\lambda_{i0} = -\ln P_i(t_0)/t_0$, $P_i(t_0) = \sqrt[n]{P_{\Phi_j}(t_0)}$, де $P_i(t_0)$ - ймовірність безвідмовного виконання i -ї задачі протягом часу t_0 ; $P_{\Phi_j}(t_0)$ - ймовірність безвідмовного виконання j -ої функції, до складу якої входить i -а задача; n - кількість завдань, що входять в j -у функцію.

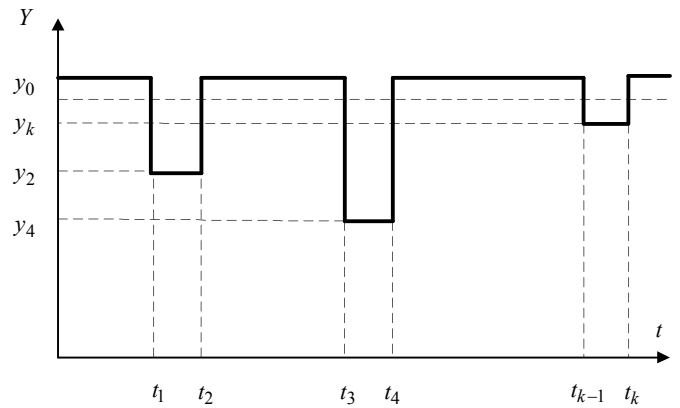


Рисунок 14 - Вплив відмов на переробну спроможність гірки

Для оцінки ступеня впливу надійності виконання окремих завдань на переробну спроможність гірки використовувався апарат теорії планування активного багатofакторного експерименту, який дозволив значно скоротити кількість обчислень і спростити обробку результатів. У підсумку була отримана регресійна залежність:

$$Y = 5639,1 - 335,1X_1^* - 304,6X_2^* - 426,6X_3^* - 82,7X_4^* - 1188,3X_5^* - 1523,2X_6^*, \quad (9)$$

де $X_i^* = (\lambda_i - \lambda_{i0})$.

Наявність рівняння (9) дозволило вирішити задачу обґрунтування вимог для отримання заданої переробної спроможності гірки. Для оцінки очікуваної продуктивності гірки при заданій інтенсивності відмов необхідно в рівняння регресії підставити значення основного і оцінюваного рівня інтенсивності відмов завдань. Визначення рівнів надійності, достатніх для забезпечення необхідної продуктивності, здійснювалося методом крутого сходження, що представляє сукупність градієнтного методу пошуку оптимуму і методів теорії планування експерименту. В даному випадку метод використовувався для визначення найбільш короткого шляху для досягнення досліджуванним показником заданого рівня.

Як відомо, градієнт безперервної однозначної функції є вектор

$$\nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \bar{x}_1 + \frac{\partial \varphi}{\partial x_2} \bar{x}_2 + \dots + \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \bar{x}_i, \quad \text{де } \nabla \varphi - \text{позначення градієнта; } \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i - \text{одиничні вектори у напрямі координатних осей.}$$

Частинні похідні функції є складовими градієнта і в нашому випадку можуть бути оцінені коефіцієнтами рівняння регресії. Якщо значення інтенсивності відмов окремих завдань змінювати пропорційно величинам коефіцієнтів, то рух до екстремуму буде здійснюватися по найкоротшому шляху. Для отриманого рівняння (9) складовими градієнта будуть:

$$\nabla \varphi = -335,1\bar{X}_1 - 304,6\bar{X}_2 - 426,6\bar{X}_3 - 82,7\bar{X}_4 - 1188,3\bar{X}_5 - 1523,2\bar{X}_6.$$

Рух по градієнту здійснюється поетапно. Значення інтенсивностей в новій точці факторного простору визначаються як $\lambda'_i = \lambda_i + N \cdot A_i \cdot I_i^2$, де N - номер етапу; A_i - значення коефіцієнта в рівнянні регресії; I_i - етап варіювання (в даній роботі вибирався на рівні $0, 2\lambda_i$). Обчислювальний експеримент закінчувався, як тільки значення досліджуваного показника, розраховане після чергового етапу шляхом підстановки значень факторів в рівняння (9), перевищувало необхідне в ТЗ значення продуктивності гірки. Рівні надійності, зафіксовані при цьому, є оціночними значеннями необхідних показників. У таблиці 1 наведені результати розрахунків.

Дослідження надійності АСК МР виявило, що реалізація вимог по надійності виконання технологічних функцій, сформульованих в ТЗ, забезпечує приріст переробної спроможності сортувальної гірки з вихідною продуктивністю 5000 вагонів на добу на 639 вагонів. Для забезпечення збільшення переробної спроможності сортувальної гірки на 650 вагонів на добу необхідне підвищення вимог до надійності виконання функцій в АСК МР. Запропоновані структури КеОК забезпечують задані показники надійності реалізації функцій Φ_j (дивись таблицю 1), але для задоволення вимог по надійності в АСК МР необхідно передбачити заходи щодо резервування комплексів технічних засобів низової автоматики і наземного обладнання (НА-НО).

Таблиця 1 - Показники надійності системи АСК МР

Технологічна функція Φ_j	Показник надійності $P_{\Phi_j}(t_0)$					
	$P_{\Phi_j}^{ТЗ}(t_0)$	$P_{\Phi_j}^M(t_0)$	Без резервування КТЗ КеОК		З резервуванням КТЗ КеОК	
			Послідовний розпуск $P_{\Phi_j}^{КеОК}(t_0)$	Паралельний розпуск $P_{\Phi_j}^{КеОК}(t_0)$	Послідовний розпуск $P_{\Phi_j}^{КеОК}(t_0)$	Паралельний розпуск $P_{\Phi_j}^{КеОК}(t_0)$
Φ_1	0,99700	0,99743	0,99954	0,99962	0,99982	0,99966
Φ_2	0,99800	0,99851	0,99976	0,99977	0,99991	0,99979
Φ_3	0,9990	0,99910	0,99900	0,99904	0,99964	0,99916
Φ_4	0,99800	-	0,99954	0,99962	0,99982	0,99966

Шляхами підвищення експлуатаційної надійності систем автоматизації технологічних процесів на станціях є не лише резервування виконання важливих функцій, але й впровадження системної діагностики для оперативного виявлення збоїв і відмов і скорочення таким чином часу відновлення працездатності АСК. В дисертації запропоновані моделі і методи дослідження впливу діагностики в розподілених інформаційно-керуючих системах (РІКОС) на показники їх надійності. Розглядаються РІКОС, в яких є підсистема діагностики, яка виявляє не тільки відмови, але й збої в підсистемах, а також реалізує самодіагностику. Виведено вираз, який визначає ви-

моги до підсистеми діагностики $k_{свд} \leq \frac{1}{\beta} \cdot \left(k_{св} + \frac{\lambda_0}{\lambda_c} \right)$, де $0 \leq k_{св} \leq 1$ - частка збоїв, яка призводить до відмов, λ_0, λ_c - інтенсивність відмов і збоїв підсистем, β - коефі-

цієнт ефективності самодіагностики діагностичної підсистеми ($\beta \geq 1$). Для дослідження впливу діагностики та резервування на надійність РІКОС розглянуті три варіанти технічної структури РІКОС ІПС СС: 1) чотири технологічних підсистеми (4ТП); 2) 4ТП+ДП (діагностична підсистема); 3) 4ТП+ДРП (діагностична і резервна підсистема) і початкові дані: $\lambda_0=0,004$ 1/год; $\lambda_c=0,04$ 1/год; $\mu_1 = \mu_d = 0,5$ 1/год; $\mu_2=0,25$ 1/год; $\beta=1,2$ (див. рис. 15 - результати для 2 і 3 варіантів).

Результати дослідження запропонованих в роботі варіантів структур РІКОС для системи ІПС СС (на рис. 5 - один з варіантів структур) за допомогою розроблених математичних моделей дозволяють зробити наступні висновки:

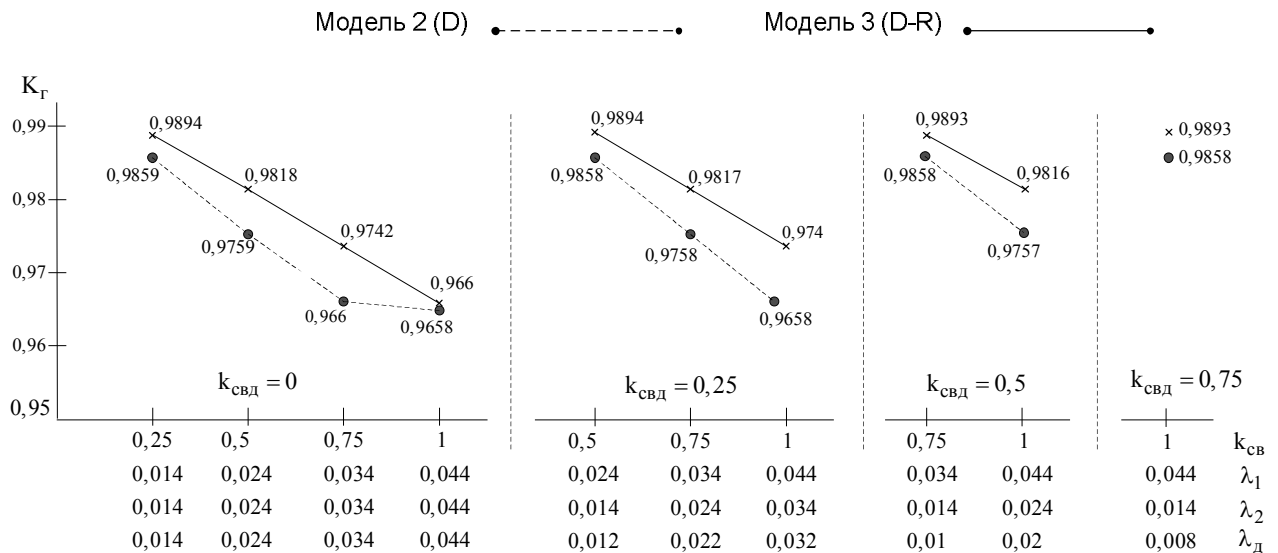


Рисунок 15 - Залежність коефіцієнта готовності від діагностики систем

1) побудова РІКОС без діагностики навіть за умови, що тільки четверта частина збоїв призводить до відмов ($k_{св}=0,25$) дає незадовільне значення коефіцієнта готовності (щодо рівня K_r (ІБД)= 0,988); введення в систему функцій діагностики без резервування при вказаних вище умовах поліпшує значення K_r , однак також є недостатнім; 2) включення функцій резервування при $k_{св}=0,25$ і максимальному спрощенні діагностики дозволяє домогтися задовільного значення $K_r=0,9894$; однак, при збільшенні частки збоїв, що приводять до відмов, до рівня $k_{св}=0,5$, потрібна діагностична підсистема, яка повинна відновлювати не менше четвертої їх частини; 3) в РІКОС з резервом у найгіршому випадку при $k_{св}=1$ діагностична підсистема повинна забезпечувати виявлення і відновлення не менше 75% збоїв.

Запропонований підхід до дослідження впливу діагностики і резервування в РІКОС на показники їх надійності може знайти використання на ранніх етапах створення АСК сортувальними станціями систем як у вигляді рішення окремої задачі, так і у складі комплексного підходу КСІ.

В умовах відсутності на ранніх стадіях проектування точних значень показників надійності систем і необхідності включення в надійнісні ланцюжки різнотипного устаткування (сповільнювачів, пристроїв СЦБ, мікроконтролерів і КеОМ) істотно

ускладнюється процес прийняття рішень при виборі схем резервування і оцінці їх надійнісних характеристик. У цих випадках застосовують підходи теорії нечітких систем з розмитими параметрами.

В дисертації представляється новий табличний метод аналізу надійності нечітких систем з використанням розмитих множин, де надійнісні параметри компонентів системи видаються розмитими множинами, які визначаються в універсумі $[0, 1]$. Ступінь приналежності елемента x розмитій множині представляється розмитим значенням $[t_x, 1-f_x]$ в $[0, 1]$, де t_x вказує на ступінь істини, f_x вказує на ступінь хибності, $1-t_x-f_x$ вказує на невідому частину $0 \leq t_x \leq 1-f_x \leq 1$, і $t_x+f_x \leq 1$. Поняття розмитих множин схоже на інтуїтивні нечіткі множини, і обидва вони є узагальненням поняття нечітких множин. Запропонований метод табличного моделювання та аналізу надійності нечіткої системи володіє наочністю, гнучкістю і простотою формою.

Нехай маємо універсум U , що складається з n значень $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. Ступінь приналежності елемента u_i нечіткій множині представлені реальними значеннями між нулем і одиницею, де $u_i \in U$. Щодо розмитих множин будемо посылатися на W. Gau, який визначив, що це одне значення ступеня приналежності поєднує в собі доказ, що $u_i \in U$, і демонструє протиріччя, що $u_i \in U$. Це не є доказом, що $u_i \in U$, і доказом проти $u_i \in U$ відповідно, і воно не вказує, скільки там кожного з них. Крім того, W. Gau також зазначив, що одне значення ступеня нічого не говорить про його точності. Нехай U універсум $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, який описується елементами. Розмита множина \tilde{A} на універсумі U характеризується функцією приналежності істини (ФПІ) $t_{\tilde{A}}, t_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0,1]$, і функцією приналежності хибності (ФПХ) $f_{\tilde{A}}, f_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0,1]$, де $t_{\tilde{A}}(u_i)$ нижня межа функції приналежності u_i , що є доказом для значення u_i , $f_{\tilde{A}}(u_i)$ - нижня межа заперечення u_i , що є доказом проти значення u_i , і $t_{\tilde{A}}(u_i) + f_{\tilde{A}}(u_i) \leq 1$. Значення функції приналежності u_i розмитій множині \tilde{A} є обмежений підінтервал $[t_{\tilde{A}}(u_i), 1-f_{\tilde{A}}(u_i)]$ в $[0, 1]$. Розмита величина $[t_{\tilde{A}}(u_i), 1-f_{\tilde{A}}(u_i)]$ показує, що точне значення функції приналежності $\mu_{\tilde{A}}(u_i)$ для u_i обмежено діапазоном $t_{\tilde{A}}(u_i) \leq \mu_{\tilde{A}}(u_i) \leq 1-f_{\tilde{A}}(u_i)$, де $t_{\tilde{A}}(u_i) + f_{\tilde{A}}(u_i) \leq 1$. Приклад розмитої множини \tilde{A} на універсумі U показано на рис. 16.

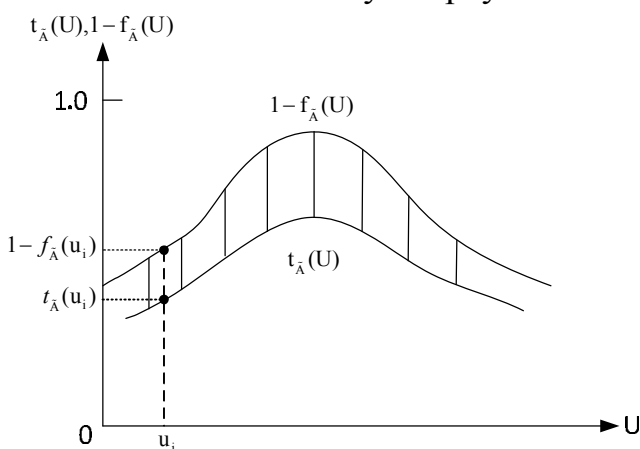


Рисунок 16 - Розмита множина

Якщо універс U є дискретною множиною, то розмита множина \tilde{A} на універсі U може бути представлено як

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n [t_{\tilde{A}}(u_i), 1-f_{\tilde{A}}(u_i)] / u_i, \quad u_i \in U.$$

Якщо універс U є неперервною множиною, то розмита множина \tilde{A} на універсі U може бути представлено як

$$\tilde{A} = \int_U [t_{\tilde{A}}(u_i), 1-f_{\tilde{A}}(u_i)] / u_i, \quad u_i \in U.$$

Визначення 1. Нехай \tilde{A} розмита множина на універсі U з ФПШ $t_{\tilde{A}}$ і ФПХ $f_{\tilde{A}}$ відповідно. Розмита множина \tilde{A} є випуклою тоді і лише тоді, коли для всіх u_1, u_2 на U ,

$$t_{\tilde{A}}(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min(t_{\tilde{A}}(u_1), t_{\tilde{A}}(u_2)),$$

$$1 - f_{\tilde{A}}(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min(1 - f_{\tilde{A}}(u_1), 1 - f_{\tilde{A}}(u_2)), \text{ где } \lambda \in [0, 1].$$

Визначення 2. Розмита множина \tilde{A} на універсі U називається нормальною розмитою множиною, якщо $\exists u_i \in U$ для котрого $1 - f_{\tilde{A}}(u_i) = 1$. В цьому випадку $f_{\tilde{A}}(u_i) = 0$.

Визначення 3. Розмите число є така розмита підмножина на універсі U , яка є як випуклою, так і нормальною.

Для обробки розмитих множин різної форми відомі основні арифметичні операції. В роботі запропоновано метод табличного представлення нечітких систем, елементи яких описуються трикутними функціями приналежності з розмитими межами, що дозволяє моделювати характеристики надійності подібних систем шляхом побудови взаємопов'язаних таблиць для послідовних і паралельних структур без виконання складних математичних перетворень, що знижує ймовірність помилок, скорочує час побудови моделей і моделювання систем в цілому. На рисунку 17 наведені приклади оцінки надійності систем, які утворені з трьох підсистем з нечіткими параметрами надійності з розмитими межами.

Однією з проблем реалізації алгоритмів виконання арифметичних операцій з нечіткими параметрами з розмитими межами є використання різних видів функцій приналежності, або типів розмитих множин (трикутних, трапецієподібних тощо). В роботі запропонований алгоритм для виконання різних арифметичних операцій між різними типами розмитих множин, описаних уніфікованим чотиримісним кортежем $\langle [a_1, b_{11}, b_{12}, c_1]; [a_2, b_{21}, b_{22}, c_2]; \mu_1, \mu_2 \rangle$. Новий підхід дозволяє аналізувати надійність нечітких систем автоматизації сортувальних станцій і гірок будь-якої конфігурації, які містять механізми, релейні і електронні прилади, а також оперативний персонал. В цих системах параметри компонентів можуть бути описані різноманітними типами розмитих множин, тому запропонований підхід і формалізація побудови функцій приналежності підвищує гнучкість і ефективність рішення задач оцінки надійності великих систем. В таблиці 2 наведені приклади опису розмитих множин уніфікованим чотиримісним кортежем і вирази для обчислення коефіцієнтів готовності для систем з чотирьох нечітких підсистем (\tilde{R}_S - послідовна, \tilde{R}_P - паралельна, \tilde{R}_{PS} - паралельно-послідовна, \tilde{R}_{SP} - послідовно-паралельна структури).

Ускладнення сучасних транспортних систем, високі вимоги до якості управління і часові обмеження на прийняття рішень в реальному масштабі часу потребують переходу до використання ресурсощадних моделей і методів штучного інтелекту в інтелектуальних АСК СС і АСК ВП УЗ-Є. У додатку до дисертації запропонована логіко-лінгвістична система керування сповільнювачем прицільної гальмівної позиції на сортувальній гірці, її структурна схема з використанням нечіткого контролера.

Для кожної з трьох вхідних логіко-лінгвістичних змінних (швидкість відчепа в сповільнювачі, прискорення відчепа в сповільнювачі і відстань до найближчого



Рисунок 17 - Результати оцінки надійності РІКОС з послідовною структурою і потрійним резервуванням

відчепу на сортувальному шляху) визначені універси (діапазони зміни параметрів), перелік відповідних термів та їх функції приналежності. Вихідна змінна - ступінь гальмування. Для зазначених логіко-лінгвістичних змінних сформульовані 27 логіко-лінгвістичних продукційних правил завдання положення регулятора сповільнювача прицільної гальмівної позиції.

Таблиця 2 - Нечітка надійність компонентів і систем

Нечітка надійність \tilde{R}_i і-ої компоненти	Тип розмитої множини
$\tilde{R}_1 = \langle [(0.2, 0.4, 0.4, 0.6); (0.2, 0.4, 0.4, 0.6); 0.7; 0.8] \rangle$	Трикутна
$\tilde{R}_2 = \langle [(0.3, 0.5, 0.7, 0.9); (0.3, 0.5, 0.7, 0.9); 0.6; 0.9] \rangle$	Трапецієподібна
$\tilde{R}_3 = \langle [(0.6, 0.7, 0.7, 0.8); (0.5, 0.7, 0.7, 0.9); 0.5; 0.7] \rangle$	Трикутна
$\tilde{R}_4 = \langle [(0.2, 0.3, 0.4, 0.5); (0.1, 0.3, 0.4, 0.6); 0.4; 0.6] \rangle$	Трапецієподібна
$\tilde{R}_S = \tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2 \otimes \tilde{R}_3 \otimes \tilde{R}_4$	
$\tilde{R}_P = 1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_1) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_2) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_3) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_4)$	
$\tilde{R}_{PS} = 1 \ominus (1 \ominus (\tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2)) \otimes (1 \ominus (\tilde{R}_3 \otimes \tilde{R}_4))$	
$\tilde{R}_{SP} = 1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_1) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_2) \otimes (1 \ominus (1 \ominus \tilde{R}_3) \otimes (1 \ominus \tilde{R}_4))$	

Результати оцінки надійності перелічених структур - на рис. 18.

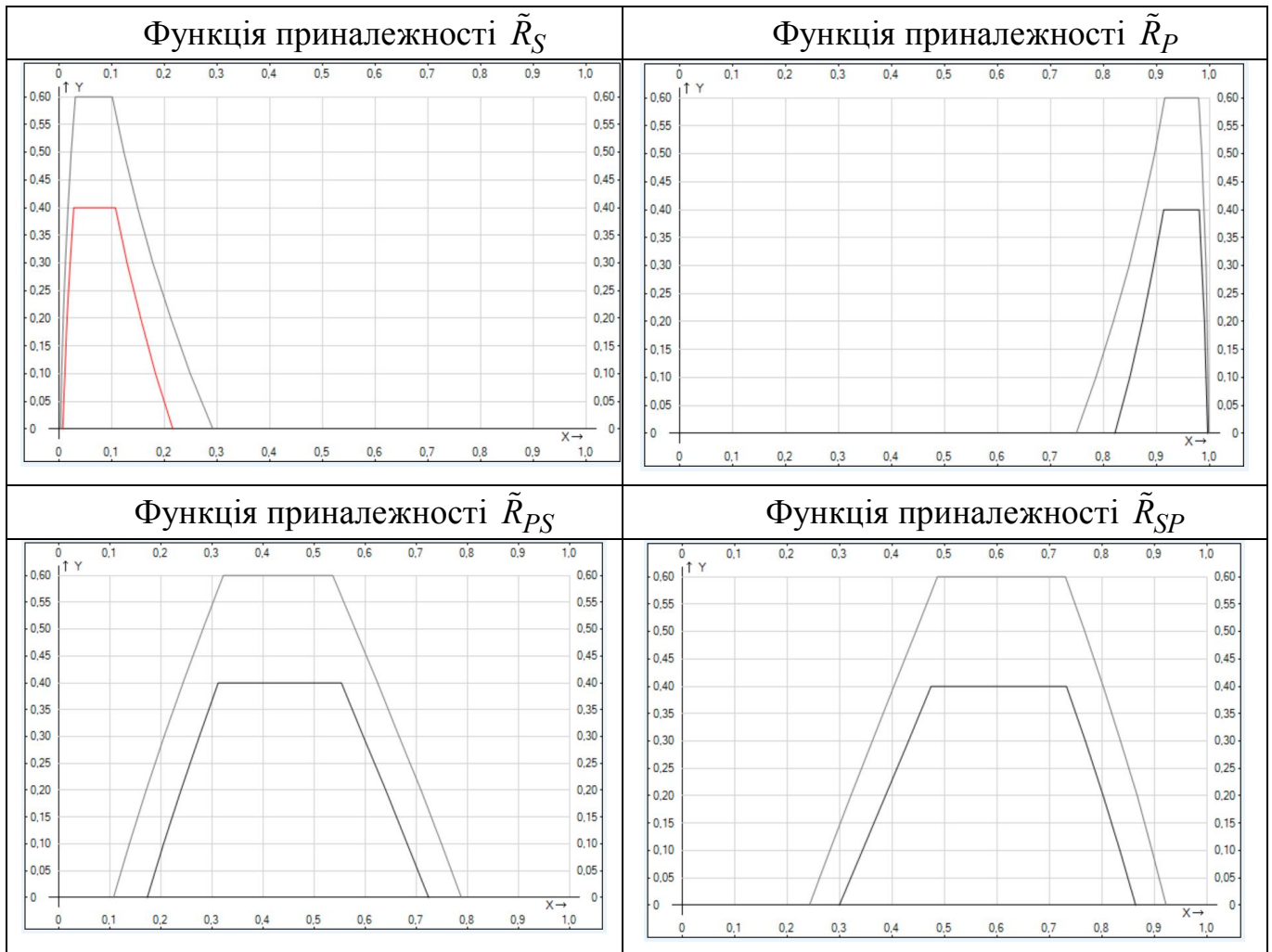


Рисунок 18 - Надійність систем з нечіткими розмитими надійнісними параметрами компонентів

В системах класу АСК ВП УЗ-Є існує проблема маршрутизації, яка полягає у виборі шляху з достатніми ресурсами для задоволення вимог за якістю сервісів (QoS, Quality of Service - якість обслуговування) у кожному елементарному з'єднанні з використанням інформації про стан мережі. Для вирішення проблеми в дисертації пропонується використовувати розмиту логіку для визначення рейтингу шляху, заснованого на критеріях кількості роутерів s у маршруті і його завантаження R (середньої зваженої довжини черги пакетів на шляху). На основі цих нечітких параметрів визначається рейтинг шляху r (як вихідна змінна алгоритму) за 16 логіко-лінгвістичними правилами з заданими функціями приналежності. Запропоновані принципи маршрутизації можна використовувати при виборі найкращих маршрутів перевезення вантажів залізничним, автомобільним, морським транспортом і в інших мережах масового обслуговування з чергами (з відповідним коректуванням вхідних параметрів, функцій приналежності і бази нечітких правил).

Створення сучасних інтелектуальних систем автоматизації на транспорті пов'язане не тільки з їх складністю, але і з великими об'ємами інформації, що приводить до дублювання розробок і несумісності окремих систем. Для вирішення цієї проблеми в дисертації запропоновано метод створення бібліотек онтологічних моделей: бібліотеки опису концептуальних схем сортувальних станцій і гірок до рівня

окремих технологічних ділянок і відповідних сигналів; бібліотеки промислових мікроконтролерів фірми Advantech АРАХ-5000 - від сигналів до рівня уніфікованих структурних технічних рішень. Онтології сортувальних станцій як об'єктів автоматизації і промислових мікроконтролерів АРАХ-5000 увійшли до бібліотеки онтологій системи автоматизованого проектування і удосконалення автоматизованих систем керування на сортувальних станціях.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі 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. Головні наукові та прикладні результати досліджень полягають в наступному.

1. Сформульовані наукові передумови розвитку систем автоматизації сортувальних станцій у складі АСК ВП УЗ-Є: зміна парадигми побудови АСК - перехід від інформаційних систем до інтелектуальних систем автоматизації; важливою комплексною характеристикою АСК є її архітектура як адаптивна ієрархічна мультиструктура, що об'єднує всі види забезпечення інтелектуальних систем, граничні можливості якої визначаються комплексом технічних засобів (КТЗ); АСК сортувальних станцій як об'єкти автоматизації, як об'єкти проектування і як системи керування відносяться до класу складних систем, що володіють синергетичним ефектом, і потребують для їх побудови та удосконалення використання комплексу математичних моделей, методів і інструментальних програмних засобів для наукового обґрунтування приймаємих проектних рішень; перспективні системи автоматизації будуються на чотирирівневій моделі взаємодії підсистем; АСК ВП УЗ-Є має достатні резерви для розвитку функціоналу задачами автоматизації сортувальних станцій: в ній використовуються лише 60% проектних і 17% обчислювальних ресурсів системи.

2. Уперше науково обґрунтовані принципи декомпозиції/композиції систем автоматизації сортувальних станцій і гірок як дискретних АСК реального масштабу часу: об'єктно-топологічний, технологічний, функціонально-топологічний і подійний принципи. Для таких систем теоретично доведена можливість їх послідовної і паралельної композиції, морфізм і гомоморфізм їх структур. На основі теорії ієрархічних багаторівневих систем вперше розроблені концептуальні моделі сортувальної станції і гірки, виконана структуризація технологічних процесів і систем до рівня окремих ділянок і сигналів. Усе це разом дозволяє реалізувати різноманітні принципи декомпозиції і стратегії керування сортувальною гіркою, обґрунтувати вибір структур розподілених систем гіркової автоматики.

3. Уперше створено концептуальний підхід до побудови розподілених систем керування і наукового обґрунтування управлінських та 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; концептуальний підхід реалізовано у вигляді науково-методичного, програмного комплексу системної інтеграції КСІ (Ξ); 5 програм КСІ захищені авторськими свідоцтвами. В роботі визначені принципи і загальні вимоги

до методологій системного проектування: принцип системної єдності і розвитку; принцип декомпозиції систем; принцип ієрархічності; принцип багатоетапності процесу проектування; багатокритеріальність проектування з перевагою часових критеріїв; принцип використання методології паралельного проектування; принцип ітеративності (рекурсивності) проектування; принцип типізації - уніфікації проектних рішень і проектних процедур; принцип автоматизації процесів проектування і формування інформаційної бази проектних рішень. Для систем реального часу визначені основні кількісні критерії їх побудови: своєчасність, продуктивність, пропускна здатність, ємність і повні проектні вартості.

4. Уперше запропоновано інформаційно-функціональну модель, що дозволяє формально описати всі інформаційні потоки в АСК без прив'язки до технічних засобів і існуючих структур обміну даними. Вперше сформульована задача її структурної оптимізації за критерієм мінімізації приросту сумарного інформаційного потоку в системі з формуванням структури у вигляді максимального кістякового дерева. Постановка задачі дозволяє не лише отримати структуру з мінімальною кількістю каналів, але й виявити зайве дублювання потоків даних в діючих системах, збільшити їх достовірність. Запропоновані методи рішення задачі формування інформаційних структур на основі удосконалених генетичних алгоритмів. В першому методі запропонована постановка задачі пошуку раціональної інформаційної структури АСК, яка враховує характеристики інформаційних потоків і довжину каналів. Розроблений генетичний алгоритм має удосконалені схеми кодування операторів. В другому методі враховані тенденції побудови "зіркоподібних" структур інформаційно-керуючих систем сортувальних станцій і виконується пошук раціональних "зіркоподібних" структур з використанням кодування їх в генетичному алгоритмі числами Прюфера, що дозволило суттєво скоротити час пошуку рішень.

5. Уперше розроблено комплекс ресурсощадних моделей і методів обґрунтованого вибору технічних структур розподілених децентралізованих систем гіркової автоматики, використання яких дозволить зменшити технологічні втрати при відмовах обладнання, витрати на придбання промислових контролерів і керуючих ЕОМ:

- метод дослідження умов доцільності децентралізації функцій керування в системах гіркової автоматики за критерієм мінімізації повних витрат, які враховують втрати через неоптимальне керування, втрати, коли не працює і-й контур керування, втрати при непрацюючій центральній ЕОМ, втрати, коли не працює гірка, а також витрати на придбання керуючої ЕОМ і мікроконтролерів в локальних контурах керування; отримані результати дозволяють обирати оптимальну кількість локальних мікроконтролерних контурів в залежності від надійності технічних засобів (коефіцієнта готовності); на сучасному рівні показників надійності, кількість підсистем на нижньому рівні не повинна перевищувати 15;

- метод вибору технічних структур керуючих систем сортувальних гірок за критерієм ефективного використання обчислювальних ресурсів (мінімізації сумарної вартості керуючої ЕОМ і мікроконтролерів); він враховує вплив на критерій не тільки кількості підсистем, але й задач диспетчеризації, коливання інформаційних потоків на системному рівні і організації резервування; в роботі запропоновані аналітичні моделі для вибору централізованих або децентралізованих структур за частковими критеріями і виведено інтегральний критерій, який враховує всі перелічені фактори;

- метод оцінювання витрат на побудову цифрових розподілених керуючих систем, що враховує витрати на обробку і передачу даних в залежності від топології розміщення обладнання на об'єкті; за цим методом кількість підсистем в комп'ютерних системах гіркової автоматики не повинна перевищувати 4.

6. Уперше запропонована універсальна графоаналітична модель опису процесів функціонування автоматизованих систем керування технологічними процесами (φ-транзакція) і теоретичні основи її використання в системах автоматизації реального часу, що сприяє зменшенню кількості порушень технологічних процесів на автоматизованій сортувальній гірці при впровадженні нових функцій і задач автоматизації; розроблено синтаксис φ-транзакцій і правила еквівалентних перетворень схем з розгалуженнями, зворотними зв'язками, циклами, які дозволяють формалізувати і автоматизувати процес їх створення, перетворення і розрахунку; запропоновані графоаналітичні моделі, які інтегрують розрахунки основних експлуатаційних характеристик АСК СС, які складають параметричну основу ресурсоощадних методів комплексу системної інтеграції КСІ: середній час обробки заявок, середній час реакції системи, середній час очікування, середня швидкодія процесорів на суміші команд системи, інформаційні потоки повідомлень, керуючих дій і потоки до бази даних, пріоритети обробки заявок, необхідні швидкості передачі даних в каналах.

7. Уперше запропоновано метод оцінки рівнів функціональної надійності АСК сортувальної гірки, які забезпечують необхідний приріст переробної спроможності гірки при автоматизації нових функцій, що дозволить обґрунтувати вибір надійних структур на ранніх стадіях прийняття технічних рішень з питань автоматизації сортувальних станцій; цей метод враховує варіанти структур КеОК без резервування і з резервом для послідовного і паралельного розпуску.

8. Удосконалені моделі впливу діагностики в розподілених системах на показники їх надійності. Встановлено, що в розподілених інформаційно-керуючих системах з резервом на сортувальних станціях у найгіршому випадку діагностична підсистема повинна забезпечувати виявлення і відновлення не менше 75% збоїв.

9. Удосконалено метод обчислення надійності систем з використанням нечітких математичних моделей з розмитими показниками надійності, які відрізняються введенням уніфікованого чотиримісного кортежу для опису трикутних і трапецієподібних функцій приналежності і табличного способу виконання арифметичних операцій для оцінки коефіцієнтів готовності складних неоднорідних структур автоматизації, що дозволяє прискорити і спростити отримання показників надійності систем в нечітких умовах, які містять напільне обладнання, пристрої низової автоматики, мікроконтролери і керуючі ЕОМ.

10. Розроблений в дисертації комплекс моделей і ресурсоощадних методів, а також отримані технічні рішення, використовувались і впроваджені в процесі створення і модернізації систем АСУ МР, ІПС СС, ІКК СС і аналітичних серверів АСК ВП УЗ-Є. Впровадження варіантів технічних структур АСУ МР з резервуванням дозволило автоматизувати нові функції і підвищити переробну спроможність гірки з 5000 до 5639 вагонів на добу з економічним ефектом до 55 тис. грн. При проектуванні ІПС СС розроблені 6 моделей повних інформаційних потоків для загальностанційного рівня (2 схеми), для парку відправлення, району місцевої роботи, районів сортувальної гірки і сортувального парку. Ці моделі були структуровані у 38

основних функціональних підмоделей, на основі яких запропонована раціональна технічна структура ІПС СС. Ефективність системи на базовій станції (за розрахунками ВНДІЗТ) - вивільнення вагонного парку до 227 вагонів на годину.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці

1. Косолапов А.А. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография [Текст] / [авт. кол. : Косолапов А. А., Блохин А. Л., Боряк К.Ф. и др.]. - Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2013 - 163 с. : ISBN 978-966-2769-16-6
2. Косолапов А.А. Проектування інтелектуальних транспортних систем і мереж засобами аналітичних моделей масового обслуговування: монографія [Текст] / А. А. Косолапов // Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 184 с.
3. Системи штучного інтелекту [Текст]: методичні вказівки до практичних і лабораторних робіт із розділу «Нечітке виведення в інтелектуальних системах проектування та управління» / уклад. А. А. Косолапов; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – 47 с.
4. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В. Принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами на сортировочной станции [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 1,2. - С. 36-41.
5. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В. Разработка унифицированной системы автоматизированного управления процессом расформирования поездов на сортировочной станции [Текст]: материалы временных коллективов / Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий, А.А. Косолапов // "Инфотранс-96" : Инф. технол. на ж.-д. трансп. : Матер. 1 Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 11-14 нояб., 1996. - СПб., 1996. - С. 81-93.
6. Косолапов А.А., Домашний В.А., Юденко В.С., Шафит Е.М. Организация подготовки специалистов в области современных сетевых информационных технологий для железных дорог Украины [Текст] : материалы временных коллективов / В.А. Домашний, В.С. Юденко, Е.М. Шафит, А.А. Косолапов // "Инфотранс-96": Информационные технологии на ж.-д. транспорте : Материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 11-14 нояб., 1996 г.). - СПб, 1996. - С. 259-263.
7. Косолапов А.А. Методология автоматизированного системного анализа и проектирования как основа создания информационно-управляющих вычислительных систем и сетей [Текст] / А.А. Косолапов // Информационные технологии на железнодорожном транспорте "ИНФОТРАНС-96". - СПб.: Академия транспорта РФ, ПГУПС, 1996. - С. 332-341.
8. Косолапов А.А. Методологія проектування інтегрованих комп'ютерних систем управління організаційно-технологічними процесами на залізничному транспорті [Текст] / А.А. Косолапов // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. - 1998. - №4. - С. 69-70.

9. Косолапов А.А., Пшінько О.М., Нечай В.Я., Шафит Є.М. Концепція побудови, розробки і впровадження автоматизованої інформаційної системи управління університетом на базі мережевих інформаційних інтернет-технологій [Текст] / А.А. Косолапов, О.М.Пшінько, В.Я. Нечай, Є.М. Шафит // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. - 1998. - № 4. - С. 70-71
10. Косолапов А.А. Принципы проектирования и структура корпоративной информационной системы университета [Текст] / А.А. Косолапов // 3 Міжнародна науково-методична конференція "Освіта та Віртуальність". Наукові праці. ХТУРЕ, Харків, 1999. - 104 с. - с. 64-67.
11. Косолапов А.А., Пшінько А.Н., Распопов А.С. Организация управления учебным процессом на основе информационной системы университета [Текст] / А.А. Косолапов, А.Н. Пшінько, А.С. Распопов // 3 Міжнародна науково-методична конференція "Освіта та Віртуальність". Наукові праці. ХТУРЕ, Харків, 1999. - 104 с. - с. 68-70.
12. Косолапов А.А., Пшінько А.Н., Распопов А.С. Информационно-методическая база управления учебным процессом в техническом университете [Текст] / А.А.Косолапов, А.Н. Пшінько, А.С. Распопов // Информационная инфраструктура высших учебных заведений. - Сборник научных трудов, Том 2, Санкт-Петербург - 1999. - 98 с. - с. 85-88.
13. Косолапов А.А. Системные принципы построения технической структуры автоматизированной информационной системы университета [Текст] / А.А. Косолапов // Информационная инфраструктура высших учебных заведений. - Сборник научных трудов, Том 2, Санкт-Петербург - 1999. - 98 с. - с. 48-50.
(<http://www.university.kherson.ua/ru/conferences/ias/html/kosolap.htm>, 13 kb, Windows 1251).
14. Kosolapov A., Pshinko O., Vodnar B., Raspopov A., Application of Network Information Technologies to Integration of Educational Process Control and Management in Technical University // International Conference on Engineering Education, ICEE'99, Ostrava - Prague: VSB - Technical University of Ostrava, 1999. - <http://www.fs.vsb.cz/akce/1999/ICEE99/Proceedings/papers/329/329.htm>, 12p., ISSN 1562-3580.
15. Косолапов А.А. Многоуровневая структурная оптимизация в составе инженерной методики проектирования корпоративных информационных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Математичне моделювання. Науковий журнал. Дніпродзержинськ: - Мін. освіти, ДДТУ, 2000. - № 1(4). - С. 57-60.
16. Косолапов А.А., Косолапова М.А. К вопросу структурного проектирования автоматизированных систем [Текст] / А.А. Косолапов, М.А. Косолапова // Математичне моделювання. Науковий журнал. Дніпродзержинськ: - Мін. освіти, ДДТУ, 2000. - № 2(5). - С. 124-128.
17. Косолапов А.А. Оптимизация распределения информационных потоков при проектировании автоматизированных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Оптимизация производственных процессов. - Сб. научн. трудов. - Вып. № 3, Севастополь: изд. СевГТУ, 2000. - С. 143-146.
18. Косолапов А.А. Многоуровневая структурная оптимизация в составе инженерной методики проектирования корпоративных информационных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Автоматика-2000. Міжнародна конференція з автоматич-

ного управління, Львів, 11-15 вересня 2000: Праці в 7-ми томах. - Т.6.- Львів: Державний НДІ інформаційної інфраструктури, 2000. – С. 274-278.

19. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В. Развитие технической структуры автоматизированных систем управления технологическими процессами на сортировочных станциях. Система СКАТ-СС [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий // Proceedings YUЖЕЛ 7th International Conference of Railway Experts. Yugoslavia, Vrnjaska Banja, October 04-06, 2000. - P. 145-146.

20. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В., Туник Т.В. Выбор технических средств и разработка вариантов технической структуры СКАТ-СС [Текст] / Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий, А.А. Косолапов, Т.В. Туник // Информ.-керуючі системи на залізн. трансп. - 2000. - № 2. - С. 14-19.

21. Косолапов А.А., Демчук М.А. Исследование механизмов защиты систем в условиях сбоев и деградации с использованием иерархических сетей Петри [Текст] / А.А. Косолапов, М.А. Демчук // Вісник Технологічного університету Поділля. Том 2. Технічні науки. Науковий журнал, Хмельницький, 2003, №3. – с. 64-67.

22. Косолапов А.А., Мудрик А.Б. Формирование рациональной структуры телекоммуникационной среды корпорации на основе эволюционно-генетического подхода [Текст] / А.А. Косолапов, А.Б. Мудрик // Информационные технологии на железнодорожном транспорте. Доклады десятой международной научно-практической конференции „Инфотранс-2005”. – СПб., 2005. – с.135-140.

23. Косолапов А.А., Лоскутов Д.В., Фастов Н.А. Организация антивирусной защиты и самодиагностики в распределённых информационных системах. - Інформаційні технології в наукових дослідженнях і навчальному процесі [Текст] / А.А. Косолапов, Д.В. Лоскутов, Н.А. Фастов // Матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (17-19 листоп. 2010 р.). - Луганськ, 2010. - 191 с. - с. 176-181.

24. Косолапов А.А., Боднар Б.Е., Боднар Е.Б. Внедрение информационных технологий для обеспечения качества подготовки специалистов. ЦИТ: 212-725 [Текст] / А.А. Косолапов, Б.Е. Боднар, Е.Б. Боднар // Сб. научных трудов SWorld "Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2012". - Вып. 2. - Том 5. Технические науки. - Одесса, 2012. - 101 с. - с. 31- 36.

25. Косолапов А.А. Логіко-лінгвістична система управління сповільнювачем прицільної гальмівної позиції на сортувальній гірці. ЦИТ: 212-750 [Текст] / А.А. Косолапов // Сб. научных трудов SWorld. "Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2012 ". - Вып. 2. - Том 2. Транспорт. Физика и математика. - Одесса, 2012. - 96 с. - с. 58 - 61.

26. Косолапов А.А. Принципы нечёткой маршрутизации. ЦИТ: 312-792 [Текст] / А.А. Косолапов // Сб. научных трудов SWorld. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития `2012». - Том 6. Технические науки. - Одесса, 2012. - 87 с. - с. 18 - 22.

27. Косолапов А.А. Моделі дискретних систем реального масштабу часу керування сортувальними гірками. ЦИТ: 312-793 [Текст] / А.А. Косолапов // Сб. научных трудов SWorld. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития `2012». - Том 2. Транспорт. Физика и математика. - Одесса, 2012. - 108 с. - с. 46 - 58.

28. Косолапов А.А. Концептуальні моделі сортувальних станцій. [Текст] / А.А. Косолапов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 2. Транспорт. Техническая эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – ЦИТ: 412-0949. – С. 65-69.

29. Косолапов А.А. Концептуальні моделі гіркових процесів і систем. [Текст] / А.А. Косолапов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 14. Технические науки. Информатика, вычислительная техника и автоматизация. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – ЦИТ: 412-0950. – С. 71-81.

30. Косолапов А.А., Гриненко Ю.О., Пошук оптимальної структури інформаційної системи. Генетичний підхід [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.О. Гриненко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013». – Выпуск 1. Том 1. Транспорт. Транспортные и логистические системы. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 113-1007. – С. 35-44.

31. Косолапов А.А., Методика анализа надёжности нечётких систем с использованием теории размытых множеств [Текст] / А.А. Косолапов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013». – Выпуск 1. Том 10. Технические науки. Информатика, вычислительная техника и автоматизация. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 113-1008. – С. 24-35.

32. Косолапов А.А., Жуковицький І.В. Тенденції розвитку архітектури автоматизованих систем керування [Текст] / А.А. Косолапов, І.В. Жуковицький // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (86). – Днепропетровск, 2013. – с. 62 – 71.

33. Косолапов А.А., Жуковицький І.В. Резервы архитектуры автоматизированной системы управления грузовыми перевозками Украинских железных дорог / А.А. Косолапов, І.В. Жуковицький // «Залізничний транспорт України». – № 1. – Київ, 2013. – С. 45-48.

34. Косолапов А.А. Дослідження умов доцільності децентралізації функцій керування в системах гіркової автоматики [Текст] / А.А. Косолапов // Сборник научных трудов SWorld. Выпуск 2. Том 2. Транспорт. Физика и математика. Технические науки. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 213-903. – С. 37-45.

35. Косолапов А.А. Методика оценки надёжности нечётких систем с использованием различных видов размытых множеств [Текст] / А.А. Косолапов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, вип. 2(44), 2013. - С. 17-27.

36. Косолапов А.А., Пшінько Ю.О. Онтологічні моделі в задачах автоматизації сортувальних станцій [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.О. Пшінько // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и

пути развития '2013». – Выпуск 3. Том 2. Транспорт. Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – ЦИТ: 313-0511. – С. 42-50.

Додаткові наукові праці

37. АС № 45855 від 02.10.2012, Україна, ДДІВ. - Комп'ютерна програма "Вибір пріоритетів потоків заявок в інформаційно-керуючих системах реального часу» («PRIORY»)" / Косолапов А.А., Борисов О.І. - 2012.

38. АС № 45857 від 02.10.2012, Україна, ДДІВ. - Комп'ютерна програма "Оптимізація інформаційно-керуючих обчислювальних систем» («ОПТИКОС»)" / Косолапов А.А., Мудрик О.Б. - 2012.

39. АС № 45858 від 02.10.2012, Україна, ДДІВ. - Комп'ютерна програма "Комплекс системного інтегратора» («CSI»)" / Косолапов А.А., Магамедов В.К. - 2012.

40. Косолапов А.А., Красовский Т.А., Игнатов Б.А., Сафрис Л.В., Филимонов Б.М. Автоматизированная система управления маршрутами движения для сортировочных горок на базе микропроцессорной ЭВМ типа СМ1800 [Текст] / А.А. Косолапов, Г.А. Красовский, Б.А. Игнатов, Л.В. Сафрис, Б.М. Филимонов // Автоматика, телемеханика и связь. - 1984. - №7. - С. 7-11.

41. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Сафрис Л.В. Методика разработки, структура и характеристика микропроцессорной информационно-управляющей вычислительной системы для ГАЦ (АСУ МД): сборник научных трудов [Текст] / Е.М. Шафит, Л.В. Сафрис, А.А. Косолапов // Автоматизация управления маршрутами на сортировочных горках : Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. - М., 1984. - С. 70-78

42. Косолапов А.А., Рожков О.В. Машинная методика эскизной компоновки и расчета характеристик децентрализованных УВК систем горочной автоматики на МКЭВМ [Текст] / А.А. Косолапов, О.В. Рожков // Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд ДИИТа, 1984. - Вып. № 236/13. - С. 24-29.

43. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Сафрис Л.В. Основные направления и этапы развития систем управления сортировочным процессом на станциях [Текст] / Е.М. Шафит, Л.В. Сафрис, А.А. Косолапов // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1985. - Вып. № 244/14. - С.3-16.

44. Косолапов А.А., Вашурин Л.А., Рыбцов В.Н., Чижов С.Г. Оценка надежности автоматизированной системы управления маршрутами движения на горке (АСУМД) [Текст] / А.А. Косолапов, Л.А. Вашурин, В.Н. Рыбцов, С.Г. Чижов // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1985. - Вып. № 244/14. - С.52-62.

45. Косолапов А.А., Шафит Е.М. Развитие технической структуры управляющих вычислительных комплексов АСУ МД на базе микроЭВМ СМ1810 [Текст]: сборник [Текст] / Е.М. Шафит, А.А. Косолапов // Развитие АСУ маршрутами движения на сортировочных горках. - М., 1987. - С. 65-67.

46. Косолапов А.А., Шафит Е.М. Разработка и опыт применения средств автоматизации проектирования локальных вычислительных систем АСУ [Текст] / Е.М. Шафит, А.А. Косолапов // Практическое применение современных технологий программирования, пакетов прикладных программ в вычислительных системах и

сетях ЭВМ. - Инф. сборник "Приборы, средства автоматизации и системы управления". - Серия "Научно-техническая пропаганда". - М.: Информприбор, 1988. - Вып. № 8. - Часть 2. - С. 5-7.

47. Косолапов А.А., Богдан Л.Г., Саква В. Н., Тихонов А. П., Бубело Н.И. Разработка подсистемы диагностики микрокомпьютерных локальных вычислительных сетей АСУ [Текст] / А.А. Косолапов, Л.Г. Богдан, В.Н. Саква, А.П. Тихонов, Н.И. Бубело // Практическое применение современных технологий программирования, пакетов прикладных программ в вычислительных системах и сетях ЭВМ. - Инф. сборник "Приборы, средства автоматизации и системы управления". - Серия "Научно-техническая пропаганда". - М.: Информприбор, 1988. - Вып. №8. - Часть 2. - С. 30-31.

48. Косолапов А.А., Савченко В.Г. Анализ состояния и перспектив развития средств технической диагностики управляющих вычислительных комплексов в АСУТП [Текст] / А.А. Косолапов, В.Г. Савченко // Автоматизированные информационные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1988. - Вып. № 263/16. - С. 5-12.

49. Косолапов А.А., Савченко В.Г. Подход к оценке влияния диагностики вычислительной системы на показатели ее надежности [Текст] / А.А. Косолапов, В.Г. Савченко // Автоматизированные информационные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1988. - Вып. № 263/16. - С. 13-22.

50. Косолапов А.А., Шафит Е.М. Системотехнический подход к построению структуры интегрированных автоматизированных систем управления сортировочными станциями [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит // Микропроцессорные системы и устройства управления ответственными технологическими процессами на транспорте. - М.: ЦП ВНТО ж.д. и трансп. строителей, МИИТ, 1989. - С. 42-44.

51. Косолапов А.А., Богдан Л.Г., Гарибян А.А. Подсистема диагностики и обслуживания многомикромашинных информационно-управляющих вычислительных систем автоматизации сортировочных станций [Текст] / А.А. Косолапов, Л.Г. Богдан, А.А. Гарибян // Микропроцессорные системы и устройства управления ответственными технологическими процессами на транспорте. - М.: ЦП ВНТО ж.д. и трансп. строителей, МИИТ, 1989. - С. 45-47.

52. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Богдан Л.Г., Бубело Н.И. Подсистема контроля, диагностики и обслуживания комплекса технических средств ИПС СС [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит, Л.Г. Богдан, Н.И. Бубело // Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1990. - Вып. № 279/17. - С. 5-10.

53. Косолапов А.А., Бубело Н.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Вычислительные сети". - Часть 1. - Централизованные и распределенные сети [Текст] / А.А. Косолапов, Н.И. Бубело // Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1992. - 27 с.

54. Косолапов А.А., Шафит Е.М. Принципы декомпозиции и интеграции автоматизированных систем управления сортировочными станциями [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит // Автоматизированные информационно-управляющие вычислительные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта. - Межвуз. сб. научн. трудов. - Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1993. - Вып. № 289/18. - С. 5-17.

55. Косолапов А.А. Таблично функциональное моделирование в задачах проектирования управляющих вычислительных систем автоматизации сортировочных станций [Текст] / А.А. Косолапов // Некоторые вопросы математического моделирования в инженерных задачах. - Сб. научн. трудов. - Вып. № 297/3, Днепропетровск: изд. ДИИТа, 1994. - С. 66-74.

56. АС SU № 1073146, А1, МПК В61L17/00. Устройство для управления технологическим процессом роспуска составов на сортировочной горке / Г.А. Красовский, Л.В. Сафрис, А.А. Косолапов, Б.М. Филимонов, Е.М. Шафит, Е.В. Щербаков. - № 3294504/27-11; заявлено 03.04.81; опубл. 15.02.84, бюл. №6. - 2 с.

57. АС № 28003 від 16.03.2009, Україна, ДДІВ. Комп'ютерна програма "Формування бази тестових завдань та тестів ""Фортест" / Боднар Б.Є., Іванов О. П., Косолапов А.А., Боднар Є.Б. - 2009.

58. АС № 45271 від 21.08.2012, Україна, ДДІВ. - Комп'ютерна програма "Генетичний алгоритм оптимізації структур інформаційних систем (GAOSIS)" / Косолапов А.А., Гриненко Ю.О. - 2012.

59. АС № 45856 від 02.10.2012, Україна, ДДІВ. - Комп'ютерна програма "Оптимальний розподіл інформаційних потоків в системах» («OPTi-FLOW»)" / Косолапов А.А., Ноздрін К.І. - 2012.

Праці апробаційного характеру

60. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В. Многоуровневая децентрализованная автоматизированная система управления сложным объектом / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий // 3-я українська конференція з автоматичного керування ("Автоматика - 96"). - Відпов. ред. д.т.н., проф. Ф.Д. Прянишников. - Т. 2. - Севастополь: СевГТУ, 1996. - С.91-92.

61. Косолапов А.А. Технология мультимедиа: научно-методические и программно-технические предпосылки разработки и применения в университетском образовании - Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте [Текст] / А.А. Косолапов // Материалы работы школы-семинара. - Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 3,4. - С. 77.

62. Косолапов А.А., Домашний В.А., Юденко В.С., Шафит Е.М. Организация подготовки специалистов в области современных информационных технологий для железных дорог Украины - Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте, Алушта, Украина, сентябрь 13-21 [Текст] / А.А. Косолапов, В.А. Домашний, В.С. Юденко, Е.М. Шафит // Материалы работы школы-семинара. - Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 3,4. - С. 77-78.

63. Косолапов А.А., Шафит Е.М., Жуковицкий И.В. Перспективная интегрированная автоматизированная система управления технологическими процессами для сортировочных станций - Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте, Алушта, Украина, сентябрь 13-21 [Текст] / А.А. Косолапов, Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий // Материалы работы школы-семинара - Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 3,4. - С. 78.

64. Косолапов А.А. Методология автоматизированного курсового проектирования информационно-управляющих вычислительных систем и сетей - Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте [Текст] / А.А. Косолапов // Материалы работы школы-семинара. - Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 4. - С. 105.
65. Косолапов А.А. К вопросу дистанционного обучения в ИНТЕРНЕТ [Текст] / А.А. Косолапов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 4. - С. 121.
66. Косолапов А.А. К вопросу дистанционного обучения в сети ИНТЕРНЕТ [Текст] / А.А. Косолапов // Современные проблемы дидактики высшей школы. - Отв.ред. Г.А.Атанов. - Донецк: ДонГУ, 1997. - С.99.
67. Косолапов А.А. Автоматизация системного проектирования информационно-управляющих вычислительных систем и сетей АСУТП [Текст] / А.А. Косолапов // Комп'ютерне моделювання. - Дніпродзержинськ: Мін. освіти, ДДТУ, 1998. - С. 96-97.
68. Косолапов А.А. Междисциплинарный курсовой проект по курсу "Вычислительные системы и сети": методика проектирования и применения средств автоматизации инженерных расчетов [Текст] / А.А. Косолапов // Комп'ютерне моделювання. - Дніпродзержинськ: Мін. освіти, ДДТУ, 1998. - С. 116.
69. Косолапов А.А., Пшінько О.М., Нечай В.Я., Шафіт Є.М. Концепція побудови, розробки і впровадження автоматизованої системи управління університетом на базі мережевих інформаційних технологій [Текст] / А.А. Косолапов, О.М. Пшінько, В.Я. Нечай, Є.М. Шафіт // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1998. - № 4. - С. 70-71.
70. Косолапов А.А. Многоуровневая структурная оптимизация в составе инженерной методики проектирования корпоративных информационных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Комп'ютерне моделювання. - Дніпродзержинськ: Мін. освіти, ДДТУ, 1999. - С. 138-139.
71. Косолапов А.А., Демчук М.А. Использование унифицированного языка моделирования UML при проектировании автоматизированных систем [Текст] / А.А. Косолапов, М.А. Демчук // Комп'ютерне моделювання. - Дніпродзержинськ: Мін. освіти, ДДТУ, 2000. - С. 212-213.
72. Косолапов А.А. Університето-центрична модель формування нової генерації громадян інформаційного суспільства // The Role of Universities in the Future Information Society "RUFIS-2000". September 25-29, 2000. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Abstracts of the 4-th International Conference— Kyiv: Ministry of Education and Science of Ukraine, KPI, 2000. – С. 30-31.
73. Косолапов А.А., Туник Т.В. Применение методов повышения достоверности обработки данных в информационной модели технологического процесса сортировочной станции [Текст] / А.А. Косолапов, Т.В. Туник // Міждержавна науково-методична конференція (25 квітня – 27 квітня 2001 р., м. Дніпродзержинськ) „Комп'ютерне моделювання” (Тези доповідей), Дніпродзержинськ, 2001. – С. 166.
74. Косолапов А.А., Мудрик А.Б. Формирование рациональной структуры телекоммуникационной среды корпорации на основе эволюционно-генетического подхода [Текст] / А.А. Косолапов, А.Б. Мудрик // Информационные технологии на железнодорожном транспорте. Аннотации докладов десятой международной науч-

но-практической конференции „Инфотранс-2005”. 5-8 октября 2005 года. Санкт-Петербург.: Изд. Политехнического университета. – 2005. – С. 31.

75. Косолапов А.А., Мудрик О.Б. Формування раціональної структури інформаційної системи на основі еволюційно-генетичного підходу - Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта [Текст] / А.А. Косолапов, А.Б. Мудрик // Материалы LXVI Междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 11-12 мая 2006 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2006. – 442 с. - С. 340-341.

76. Косолапов А.А. Методика оцінки часових параметрів прикладних програм при проектуванні інформаційних систем – «Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте» (EMC-R 2007) [Текст] / А.А. Косолапов // Материалы 1 Междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 24-25 мая 2007 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2007. – 114 с. - С. 94-95.

77. Косолапов А.А. Методика системного проектування АС УВП - Перспективные системы контроля и управления на железнодорожном транспорте [Текст] / А.А. Косолапов // 20-я Междунар. науч.-практ. конф., Алушта, Крым, октябрь 2007 г. - "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (Додаток), 2007, №4, С. 36.

78. Косолапов А.А. Методика системного проектирования как научно-методическая основа управления проектом создания информационно-образовательного портала «Консорциум библиотек Укрзалізничниці» - Библиотека ВУЗа на новом этапе развития социальных коммуникаций [Текст] / А.А. Косолапов // Материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 22-23 апр. 2010 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – 132 с. - С. 49-50.

79. Косолапов А.А., Колесникова Т.А., Мацюк А.А. Организационно-технические принципы построения информационно-образовательного портала «Консорциум библиотек Укрзалізничниці» - Библиотека ВУЗа на новом этапе развития социальных коммуникаций [Текст] / А.А. Косолапов, Т.А. Колесникова, А.А. Мацюк // Материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 22-23 апр. 2010 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – 132 с. - С. 50-51.

80. Косолапов А.А., Лоскутов Д.В., Фастов Н. А. Организация антивирусной защиты и самодиагностики в распределённых информационных системах - Библиотека ВУЗа на новом этапе развития социальных коммуникаций [Текст] / А.А. Косолапов, Д.В. Лоскутов, Н.А. Фастов // Материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 22-23 апр. 2010 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – 132 с. - С. 51-52.

81. Косолапов А.А., Столярчук Ю.Ю., Мацюк А.А. Многотерминальные информационные системы на основе бездисковых ПК - Библиотека ВУЗа на новом этапе развития социальных коммуникаций [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.Ю. Столярчук, А.А. Мацюк // Материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 22-23 апр. 2010 г. – Д.: В-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – 132 с. - С. 52-53.

82. Косолапов А.А., Столярчук Ю.Ю., Мацюк А.А. Многотерминальные информационные системы на основе бездисковых ПК [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.Ю. Столярчук, А.А. Мацюк // Міждержавна науково-методична конференція

“Проблеми математичного моделювання”, 19 - 21 травня 2010 р., ДДТУ, Тези доповідей, Дніпродзержинськ, 2010 р. – С. 35-36.

83. Косолапов А.А., Богутская Т.А., Заец А.С. Состояние и перспективы развития информационного портала университета - Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании [Текст] / А.А. Косолапов, Т.А. Богутская, А.С. Заец // Материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 12-13 мая 2011 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2011. – 123 с. - С. 100.

84. Косолапов А.А., Лоскутов Д.В., Гришечкина Т.С. Программно-аппаратные решения организации видеоконференцсвязи для дистанционного обучения [Текст] / А.А. Косолапов, Д.В. Лоскутов, Т.С. Гришечкина // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 12-13 мая 2011 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2011. – 123 с. - С. 101.

85. Косолапов А.А. Развитие информационных технологий дистанционного обучения [Текст] / А.А. Косолапов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 12-13 мая 2011 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2011. – 123 с. - С. 103.

86. Косолапов А.А. Основные направления и этапы развития архитектуры систем управления сортировочным процессом на станциях [Текст] / А.А. Косолапов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании [Текст]: материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 5-6 апр. 2012 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – 141 с. - С. 17.

87. Косолапов А.А. Логико-лингвистическая система маршрутизации [Текст] / А.А. Косолапов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 5-6 апр. 2012 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – 141 с. - С. 73-74.

88. Косолапов А.А. Логіко-лінгвістична система управління сповільнювачем прицільної гальмівної позиції на сортувальній гірці [Текст] / А.А. Косолапов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 5-6 апр. 2012 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – 141 с. - С. 74-75.

89. Косолапов А.А., Гриненко Ю.О. Пошук раціональних структур інформаційних систем з допомогою генетичних алгоритмів [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.О. Гриненко // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании [Текст]: материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 5-6 апр. 2012 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – 141 с. - С. 76.

90. Косолапов А.А., Лоскутов Д.В., Бобык И.А. ДИИТ и ИНТЕРНЕТ: информационный портал университета [Текст] / А.А. Косолапов, Д.В. Лоскутов, И.А. Бобык // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленнос-

ти и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск, 5-6 апр. 2012 г. – Д.: И-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – 141 с. - С. 113-114.

91. Косолапов А.А., Лоскутов Д.В., Порох А.Е. Перспективы развития информационного портала университета [Текст] / А.А. Косолапов, Д.В. Лоскутов, А.Е. Порох // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : Материалы Междунар. научно-практ. конф., Днепропетровск, 18-19 апреля 2013 г. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – 127 с. - С. 14-15.

92. Косолапов А.А., Мотин А.В., Лоскутов Д.В. От распределённых серверов к единому центру обработки данных (ЦОД) университета [Текст] / А.А. Косолапов, А.В. Мотин, Д.В. Лоскутов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : Материалы Междунар. научно-практ. конф., Днепропетровск, 18-19 апреля 2013 г. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – 127 с. - С. 13-14.

93. Косолапов А.А., Жуковицкий И.В. Резервы архитектуры АСУ ГП УЗ-Е [Текст] / А.А. Косолапов, И.В. Жуковицкий // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : Материалы Междунар. научно-практ. конф., Днепропетровск, 18-19 апреля 2013 г. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – 127 с. - С. 18-22.

94. Косолапов А.А., Пшинько Ю.О. Розробка онтологічних баз знань систем автоматизації сортувальних станцій [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.О. Пшинько // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : Материалы Междунар. научно-практ. конф., Днепропетровск, 18-19 апреля 2013 г. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – 127 с. - С. 15-16.

95. Косолапов А.А. Оценка надёжности систем автоматизации сортировочных станций с нечёткими параметрами с использованием размытых множеств [Текст] / А.А. Косолапов // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : Материалы Междунар. научно-практ. конф., Днепропетровск, 18-19 апреля 2013 г. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – 127 с. - С. 16-18.

АНОТАЦІЯ

Косолапов А.А. Розвиток наукових основ побудови і експлуатації систем автоматизації залізничних сортувальних станцій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Дніпропетровськ, 2014.

У дисертації розроблені наукові основи побудови і експлуатації систем автоматизації залізничних сортувальних станцій, працюючих в реальному масштабі часу.

Наукові положення базуються на розроблених концептуальних моделях сортувальних станцій і гірок, дискретних моделях систем реального часу, інтегральних інформаційно-функціональних і часових моделях систем автоматизації (М-моделі, ф-транзакції). На основі цього сформульовані принципи декомпозиції систем гіркової автоматики.

Розроблені методи отримання оптимальних інформаційних структур систем автоматизації, методи пошуку раціональних технічних структур з використанням удосконалених генетичних алгоритмів, методи оцінки раціональних рівнів децентралі-

зації в розподілених системах гіркової автоматики.

Сформульовані наукові положення для оцінки рівнів функціональної надійності АСК МР сортувальної гірки і математичні моделі дослідження впливу діагностики в розподілених системах на показники їх надійності.

Удосконалені математична модель і метод обчислення надійності нечітких систем з розмитими показниками надійності її компонентів.

Ключові слова: ресурсощадні методи, автоматизація технологічних процесів на станціях, системи реального часу, наукові основи побудови, удосконалення, надійність, діагностика.

АННОТАЦІЯ

Косолапов А.А. Развитие научных основ построения и эксплуатации систем автоматизации железнодорожных сортировочных станций. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2014.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы в области железнодорожного транспорта, которая заключается в создании научных основ построения и эксплуатации систем автоматизации, работающих в реальном масштабе времени.

В Украине только 4 горки на 15 решающих сортировочных станциях автоматизированы частично, технические средства автоматизации изношены на 50-90 %. Хотя известно, что без таких систем потери энергоресурсов на станциях составляют до 30 % на один вагон с переработкой и трудозатраты завышены на 10-15 %. Это говорит о необходимости ускорения процессов разработки и внедрения систем автоматизации на станциях.

В диссертации сформулированы теоретические предпосылки развития АСУ ТП сортировочных станций. Это смена парадигмы построения систем (переход к интеллектуальным АСУ), сложность АСУ СС как объекта автоматизации, как объекта проектирования, как объекта управления, четырёхуровневая модель организации взаимодействия между подсистемами, работа в реальном масштабе времени, интеграция с системой АСУ ГП УЗ-Е. В работе исследованы эксплуатационные характеристики АСУ ГП УЗ-Е, которые показали, что в этой системе используются только 17 % её вычислительных ресурсов, что говорит о возможности её дальнейшего функционального развития.

Для АСУ ТП СС как дискретных систем реального времени разработаны теоретические основы исследования и обоснования принципов и направлений их декомпозиции/композиции, для чего использовалась многосортная алгебра и теория иерархических многоуровневых систем. Введено описание дискретных систем реального времени в виде восьмерки с граничными значениями функций переходов, доказана возможность их последовательной и параллельной композиции/декомпозиции, а также морфизм и изоморфизм их структур. Получены 4 принципа декомпозиции технологических процессов на сортировочных горках: объектно-топологический, функционально-топологический, технологический и событийный. Построены концептуальные модели автоматизированной сортировочной станции и горки. Определены

основные критерии проектирования систем автоматизации реального времени: время реакции, производительность, ёмкость, пропускная способность, стоимость.

Впервые предложен комплексный научный подход к многокритериальному поэтапному проектированию и усовершенствованию АСУ ТП на станциях на основе ресурсосберегающих моделей и методов и общей информационной и параметрической базы. Это позволит получить научно обоснованные рациональные технические структуры систем горочной автоматики, уменьшить количество проектных ошибок и сократить сроки разработки. Разработанный подход имеет программную поддержку в виде 5 программ, защищённых авторскими свидетельствами.

В составе методики предложена информационно-функциональная модель описания АСУ ТП станций и методы её оптимизации по критерию минимизации приращения информационных потоков и построения максимального остовного дерева. Для решения задачи предложены два метода на основе усовершенствованных генетических алгоритмов, отличающихся кодированием структур, выполнением генетических операторов и организацией поиска рациональных структур. На основе этого подхода исследована информационно-функциональная структура ИПС СС и получен рациональный вариант её технической структуры.

Для определения структур распределённых АСУ РСГ разработан набор ресурсосберегающих методов, позволяющих определить рациональную степень децентрализации по критерию минимизации технологических потерь на горке из-за отказов оборудования и стоимости микроконтроллеров и УВМ, по критерию эффективного использования вычислительных ресурсов в системе с учётом режимов её работы и резервирования, по критерию минимизации затрат на обработку и топологию кабельных структур. Для распределённых горочных систем автоматизации количество подсистем находится в пределах 3-5.

На основе предложенной графоаналитической модели (ϕ -транзакции) получены аналитические выражения для интегральной оценки эксплуатационных характеристик АСУ ТП СС: среднее время обработки заявок, среднее время реакции системы, среднее время ожидания, среднее быстродействие микропроцессора на смеси команд исследуемой системы, информационные потоки сообщений, управляющих воздействий и потоки к базе данных, приоритеты обработки заявок и требуемые скорости каналов передачи данных.

Сформулированы научные положения для оценки уровней функциональной надёжности АСУ сортировочной горки и математические модели исследования влияния диагностики в распределённых системах на показатели их надёжности. На этой основе разработан набор надёжных структур УВК с резервированием и диагностикой для системы АСУ МД ст. Пермь-Сортировочная.

Усовершенствованы математическая модель и метод вычисления надёжности нечётких систем с размытыми показателями надёжности её компонентов, которые отличаются введением унифицированного четырёхместного кортежа для описания треугольных и трапециевидных функций принадлежности и табличного способа выполнения арифметических операций для оценки коэффициентов готовности сложных, неоднородных структур автоматизации. Это позволяет ускорить и упростить получение показателей надёжности нечётких систем, которые включают napольное оборудование, устройства низовой автоматики, микроконтроллеры и УВМ.

Ключевые слова: ресурсосберегающие методы, автоматизация технологических процессов на станциях, системы реального времени, научные основы построения, усовершенствование, надёжность, диагностика.

ANNOTATION

Kosolapov A.A. Development of scientific bases of construction and exploitation of the automation systems of railways marshalling yards. – On rights for a manuscript.

The dissertation on competition for a scientific degree of the doctor of engineering science in a specialty 05.22.20 – exploitation and repair of transport facilities. – Dnipropetrovs'k National University of railway transport named after academician V. Lazaryan. – Dnipropetrovs'k, 2014.

In dissertation scientific bases of construction and improvement of the systems of automation of technological processes at the marshalling yards are developed with the purpose of their service performance increase.

Scientific positions are based on the developed conceptual models of the marshalling yards and humps, discrete models of the real-time systems (RTS), integral information, functional and temporary models of the systems of automation. On this basis principles of decomposition of the systems of hump automation are formulated.

The resource-saving methods of receipt of optimum information structures of the systems, methods of search of rational technical structures with the use of the improved genetic algorithms, resource-saving methods of estimation of rational levels of decentralization in the distributed systems of hump automation are developed.

Scientific positions are formulated for the estimation of high level of functional reliability of ACS TR on hump yard and mathematical models of research of influencing of diagnostics in the distributed systems on their reliability.

A mathematical model and method of calculation of reliability of the fuzzy systems is improved with the vague reliability of its components.

Keywords: resource-saving methods, automation of the marshalling yards, RTS, scientific bases of construction, improvement, reliability, diagnostics.

КОСОЛАПОВ АНАТОЛІЙ АРКАДІЙОВИЧ

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60x84 1/16. Ум. др. арк. 1,9. Обл.-вид. арк.2,0.
Підписано до друку 20.01.2014 р
Замовлення № 13 Тираж 100 екз.

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.03

Адреса видавництва і ділянки оперативної поліграфії:
Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, 49010.
www.ditrvv.dp.ua