

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**БАБАЄВ Михайло Михайлович**

**МЕТОДОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ВАНТАЖНИХ ТА ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

05.22.08 - Експлуатація залізничного транспорту

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

**Харків - 1999**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор Соболев Юрій Володимирович, ректор Харківської державної академії залізничного транспорту.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор Шафіт Євген Миронович, Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри “Електронні обчислювальні машини”;

доктор технічних наук, професор Негрей Віктор Якович, Білоруський державний університет транспорту, професор кафедри “Станції, вузли та вантажна робота”, перший проректор;

доктор технічних наук, професор Себко Вадим Пантелейович, Харківський державний політехнічний університет, завідувач кафедри “Прилади та методи неруйнуючого контролю”.

**Провідна організація** – Східноукраїнський державний університет, кафедра транспортних технологій, Міністерство освіти України, м. Луганськ

Захист відбудеться 23 листопада 1999 р. о 14.10 годині в ауд. 1.417 на засіданні спеціалізованої ради Д64.820.04 в Харківській державній академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту.

Автореферат розісланий 19 жовтня 1999 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

Запара В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В умовах ринкової економіки найважливішою задачею збереження і посилення позицій залізничного транспорту України на внутрішньому і міжнародному транспортних ринках є впровадження сучасних технічних засобів автоматизації технологічних процесів і нових інформаційних технологій, що забезпечують створення орієнтованих на споживача гнучких і економічно обґрунтованих методів управління поїзною роботою. Для організації перспективних форм транспортного обслуговування процесу перевезень в цей час вже недостатньо відомостей, що отримуються від традиційних інформаційних систем, які функціонують на базі моделювання переміщень рухомого складу, оскільки існуючі методи реєстрації даних допускають значне відставання від реального процесу і не виключають помилок. Основним критерієм оцінки ефективності використання інформаційних технологій є дотримання технологічного процесу функціонування окремих підрозділів і залізниці загалом. Фактичні ж моделі поїзної і вантажної роботи в дорожніх центрах оперативного управління перевезеннями не в повній мірі відображають поточний стан станцій, вузлів, дільниць з причин невчасного надходження, помилковості або відсутності даних. Тому діючі системи не впливають належним чином на підбір і інформаційно-технологічні взаємодії з автоматизованими робочими місцями можливих клієнтів залізниць, виконання договірних перевезень, поліпшення використання рухомого складу національного парку і парку інших держав - країн СНД, особливо по його дислокації, аналізу структури, технічного і комерційного стану. Підвищити якість повідомлень, які надходять, можна шляхом розгортання локальних пристроїв автоматичної реєстрації рухомих складів усіх типів і концентрації оброблених даних в центрах комплексного транспортного обслуговування і управління перевезеннями. Тому основним принципом побудови нових інформаційних технологій стає автоматизація процесу збору повідомлень про кожну одиницю рухомого складу.

Однією з основних умов удосконалення експлуатаційної роботи автоматизованих систем управління залізничного транспорту є отримання достовірних даних від колійних об'єктів про параметри руху поїздів, номери складів, кількість і тип вагонів, наявність перегрітих букс та ін. У сучасних системах управління така інформація формується за допомогою підсистем нижнього рівня, що включають в себе пристрої ідентифікації складів і вагонів, лічильники осей, дискретні і безперервні колійні перетворювачі. У цей час з'являється досить багато повідомлень про результати дослідної експлуатації різних за структурою побудови і функціональними можливостями пристроїв ідентифікації рухомих об'єктів залізничного транспорту, які в тій або іншій мірі

вирішують завдання, поставлені перед ними. Однак при впровадженні нових підсистем АСУ не можна не враховувати, що через Україну проходять транзитні транспортні потоки. Це накладає серйозні обмеження на використання локальних пристроїв, що вимагають в процесі експлуатації переобладнання вагонів з установкою на них активних або пасивних кодоносіїв. В цьому випадку більш перспективним є створення об'єднаних в єдину мережу центрів систем управління залізничним транспортом, обслуговуючих весь рухомий склад, що знаходиться в регіоні, без його додаткового переобладнання.

Таким чином, впровадження в практику нових інформаційних технологій передачі даних рухомими об'єктами залізниць, прийняття науково обгрунтованих технічних рішень, які створені на основі теоретичних розробок даної дисертаційної роботи, дозволяє кваліфікувати її як актуальну, спрямовану на розв'язання важливої науково-технічної проблеми підвищення якості інформаційного забезпечення вантажних та пасажирських перевезень на залізничному транспорті.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електротехніки Харківської державної академії залізничного транспорту в період з 1986 по 1999 рр. відповідно до планів науково-дослідних робіт академії, що проводяться в рамках галузевих програм Міністерства шляхів сполучення колишнього СРСР, ЦУВТ МШС СРСР, КБ ЦШ МШС СРСР з тем: «Разработка и исследование устройств записи, считывания, стирания и обработки информации с подвижного состава» (№ГР01860026073; 1986 р., 163с.); «Автоматизированная система считывания инвентарных номеров вагонов с использованием ферромагнитных свойств бандажей колесных пар» (№ГР01870024031; 1987 р., 166с.); «Автоматизированная система считывания номеров подвижного состава с использованием ферромагнитных свойств бандажей колесных пар» (№ГР01880008653; 1988 р., 92с.); до планів науково-дослідних робіт Центрального науково-дослідного інституту комплексної автоматизації (ЦНДІКА, Москва): «Разработка и исследование аппаратуры записи и считывания номеров вагонов» (№ГР01860026072; 1986-1987 рр., 37 с.); до планів науково-дослідних робіт Харківського метрополітену: «Разработка устройства идентификации подвижного состава метрополитена» (№ГР01900040275; 1990 р., 49с.); до плану проведення науково-дослідних робіт Міністерства транспорту України: «Розробка системи автоматизованої ідентифікації вагонів стосовно до вагонного господарства України" (наказ № 369 від 23.10.95; №ГР0196U010126; 1996 - 1998 рр., 37с.).

**Метою роботи** є вдосконалення методології інформаційного забезпечення процесу вантажних і пасажирських перевезень на основі комплексної автоматизації методів і засобів розпізнавання рухомих об'єктів залізничного транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести такі основні наукові дослідження:

1. Розробити основи побудови теорії підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів на основі автоматизації процесу розпізнавання образів об'єктів, що ідентифікуються.
2. Розробити математичні моделі інформаційних задач комплексної автоматизації процесів ідентифікації транспортних засобів.
3. Розробити методи побудови інформаційних систем на основі нових технологій передачі даних рухомими складами залізничного транспорту.
4. Розробити математичні моделі прийому і обробки інформаційних сигналів, які надходять від об'єктів, що контролюються.
5. Реалізувати запропоновану методологію побудови систем інформаційного забезпечення перевізного процесу у вигляді ефективних автоматизованих підсистем.

**Наукова новизна** одержаних результатів роботи полягає в подальшому розвитку теоретичних основ удосконалення експлуатації залізничного транспорту на основі розпізнавання рухомих об'єктів, заснованих на нових технологіях передачі даних рухомими складами, а саме:

- уперше розроблена загальна методологія побудови систем розпізнавання і магнітного маркування залізничних транспортних засобів, що орієнтується на незамкнені транспортні потоки;
- уперше поставлена задача, запропоновані алгоритми роботи і синтезовані пристрої, які формують образ контрольованого рухомого складу, що дозволяє відстежувати його на полігонах залізниць і транспортних коридорах;
- уперше для систем управління рухомими складами залізничного транспорту синтезовані алгоритми роботи і реалізовані адаптивні колійні пристрої зчитування інформаційних сигналів;
- уперше розроблені перешкодозахисні алгоритми обробки вихідних сигналів дискретних колійних датчиків і синтезовано оптимальний за критерієм максимуму апостеріорної імовірності визначення характеристик та дислокації транспортних засобів;
- з метою підвищення достовірності визначення дислокації об'єктів, що контролюються, уперше поставлена задача і виконана оцінка ефективності роботи

перешкодозахисних приймачів інформаційних сигналів колійних датчиків за критерієм середньої імовірності помилки обчислень, для чого виведені відповідні розрахункові співвідношення;

- уперше для систем ідентифікації рухомих об'єктів залізничного транспорту синтезовані субоптимальні алгоритми розпізнавання контрольованих об'єктів і реалізовані субоптимальні розпізнавачі, що здійснюють комплексування інформаційних сигналів як по входах, так і по виходах;

- уперше для всіх синтезованих субоптимальних пристроїв розпізнавання контрольованих об'єктів отримані математичні вирази, що визначають показники якості виявлення. При цьому виконане порівняння цих показників з аналогічними показниками для оптимального виявляча сигналу з повністю відомими параметрами.

### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Розроблені в дисертації наукові положення і результати використані при створенні підсистем визначення дислокації рухомих одиниць на основі адаптивних вимірювальних перетворювачів, що зчитують інформаційні сигнали з колісних пар рухомого складу. Конструкція і характеристики перетворювачів дозволяють встановлювати їх в місцях, недоступних для механічного пошкодження.

2. Результати математичного аналізу і фізичного моделювання характеру розподілу залишкових магнітних полів колісних пар візків використані при виготовленні функціональних намагнічувачів колісних пар вагонів.

3. Синтезовані перешкодозахисні алгоритми обробки інформаційних сигналів використані в процесі розробки вимірювальних приймачів системи розпізнавання образів контрольованих об'єктів.

4. Випробування системи розпізнавання залізничних електропоїздів на Харківському метрополітені показали принципову можливість застосування її для діагностики надійності функціонування тягових двигунів електропоїздів.

Наукові результати дисертаційної роботи використані при впровадженні автоматизованої системи ідентифікації вагонів на Салтівській лінії Харківського метрополітену (акт про впровадження від 09 жовтня 1997 р.). Розрахунковий економічний ефект від впровадження системи в період з 1997 по 2010 рр. становить 4769 тис. грн. у цінах 1997 р. Пайова участь автора у впровадженні становить 30% - 1430 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Всі положення і результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

в роботі [1] - розробка методики проведення експериментів; в роботі [2] - методологія побудови системи розпізнавання рухомого складу; в роботі [6] - принципи побудови магнітотуляційних датчиків системи зчитування інформації; в роботі [8] - дослідження впливу дестабілізуючих чинників, що створюються навколишнім середовищем, на магнітний стан носія інформації; в роботі [9] - теоретичні основи визначення помилки обчислення дводатчиковим пристроєм; в роботі [10] - розробка алгоритмів ідентифікації рухомих складів; в роботі [12] - теоретичне обґрунтування впливу орієнтації і напрямку руху вагона на достовірність передачі інформації; в роботі [13] - аналіз інформаційних ознак статистичної моделі процесу розпізнавання вагонів; в роботі [16] - постановка і теоретичне обґрунтування рішення задачі досліджень; в роботі [18] - розробка алгоритму роботи пристрою розпізнавання залізничних транспортних об'єктів; в роботі [19] - розробка алгоритму роботи пристрою запису інформації на рухомий склад; в роботі [20] - теоретичне обґрунтування принципу роботи пристрою безконтактного зчитування інформації з магнітних носіїв.

**Апробація результатів дисертації.** Основні матеріали і результати дисертаційної роботи доповідалися і отримали схвалення:

- на всесоюзній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення надійності и безопасности технических устройств железнодорожного транспорта» (Москва, 1988 р.);
- на республіканській науково-технічній конференції «Перспективы развития электромашиностроения на Украине» (м. Харків, 1988 р.);
- на республіканській конференції «Мікропроцесорні системи зв'язку і управління на залізничному транспорті» (м. Алушта, 1991 р.);
- на республіканській школі-семінарі «Мікропроцесорні системи зв'язку і управління на залізничному транспорті» (м. Алушта, 1992 р.);
- на науково-практичній конференції «Шляхи вдосконалення технічних засобів метрополітенів» (м. Харків, 1995 р.);
- на 9-й міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, 1996 р.);
- на 10-й міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті» (м. Алушта, 1997 р.);
- на 12-й міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті» (м. Алушта, 1999 р.);
- на щорічних науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту і фахівців Південної залізниці (м. Харків, 1986-1998 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації опублікований в 20 друкованих роботах. З них: 17 статей, одне авторське свідоцтво на винахід і два патенти України. Додатково матеріали дисертації відображені у 7 статтях, 26 авторських свідоцтвах на винаходи, одному патенті України і двох патентах Російської Федерації.

**Структура і обсяг робіт.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів і висновків, викладених на 267 сторінках машинописного тексту, включає 48 рисунків, 25 таблиць, список літератури з 186 назв на 19 сторінках і 11 додатків на 15 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обгрунтовується актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими програмами і планами проведення науково-дослідних робіт Харківської державної академії залізничного транспорту. Формулюється мета, завдання досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Виділяються основні наукові положення і результати досліджень, що виносяться на захист. Наводяться відомості про структуру дисертації, публікації, апробації робіт і особистий внесок претендента в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

**У першому розділі** розглядаються загальні тенденції розвитку існуючих методів і засобів інформаційного забезпечення вантажних і пасажирських перевезень на Україні, в країнах ближнього зарубіжжя, Західній Європі, США, Японії, Канаді та ін. Зазначається, що у зв'язку з переходом економіки України до ринкових відносин особливо гостро постає проблема підвищення якості і доступності транспортних послуг, що надаються залізницями. Підвищити ефективність обслуговування пасажирів, вантажовласників, вантажовідправників і вантажоодержувачів при одночасному зниженні транспортних витрат можна шляхом впровадження нових інформаційних технологій в процес диспетчерського управління вантажними і пасажирськими перевезеннями.

Аналітичний огляд робіт, виконаних в цій галузі, показує, що відповідно до прийнятих у світовій практиці стандартів структура сучасних автоматизованих систем управління залізничним транспортом будується за багаторівневим ієрархічним принципом з виділенням таких основних рівнів:

- диспетчерського центра управління (ДЦ);
- станцій.



На рівні центра управління розміщується пункт управління. На рівні станцій - контрольовані пункти. Об'єктами управління і контролю на полігоні залізниці є поїзди, вагони, локомотиви, системи залізничної автоматики і телемеханіки.

У ДЦ можна розрізнити шість основних функціональних підсистем:

- діалогову;
- управління і контролю стану об'єктів систем залізничної автоматики і телемеханіки;
- моделювання, прогнозу і відображення ходу технологічного процесу (включає графік руху, поїзну, вагонну і локомотивну моделі);
- нормативно-довідкової інформації;
- самоконтролю і діагностики системи і підлогового обладнання;
- протоколювання роботи системи.

Діалогова підсистема повинна забезпечувати відображення інформації і взаємодію оперативного персоналу з ДЦ даної дільниці, з ДЦ сусідніх полігонів управління (диспетчерських дільниць, вузлів і великих сортувальних, дільничих і пасажирських станцій), з іншими інформаційно-керуючими системами (системою видачі попереджень про обмеження швидкості, системами телемеханіки, електропостачання та ін.), а також зв'язок з вищестоячими інформаційно-обчислювальними системами залізниці.

Підсистема моделювання, прогнозу і відображення ходу технологічного процесу на полігоні повинна забезпечувати переміщення номера поїзда на екрані монітора, надавати інформацію про підходи і вступ поїздів у зону полігона управління, про дислокації поїздів, локомотивів і вагонів на полігоні, готовність і резерв часу локомотивних бригад, виконаний графік руху поїздів. Результати моделювання є основою для відображення прогнозного графіка і своєчасного інформування оперативного персоналу про майбутні технологічні операції.

Підсистема нормативно-довідкової інформації повинна містити дані двох видів: постійні та умовно-постійні. До перших належать характеристики полігона: профіль дільниці, шляхи пропуску і зупинки поїздів з небезпечними вантажами класу 1 і негабаритними на станціях, довжина приймально-відправних колій в умовних вагонах і т.ін. Умовно-постійною є інформація, яка залишається постійною протягом тривалого часу, наприклад, обмеження швидкості на дільниці, «вікна» для виконання профілактичних і ремонтних робіт, натурний лист складу, місця виходу ремонтних бригад.

Підсистема діагностики повинна забезпечувати підтримку параметрів надійності і достовірності ДЦ на заданому рівні і телеконтроль стану пристроїв СЦБ.

Підсистема протоколювання роботи системи повинна забезпечувати фіксацію керуючих впливів обслуговуючого персоналу і поїзної обстановки, збоїв

функціонування, результатів регламентних перевірок і діагностування після відновлення працездатності.

Визначальною умовою ефективної роботи будь-якої динамічної моделі управління транспортними потоками (поїзної, локомотивної, вагонної і ін.) є оперативне отримання в реальному масштабі часу інформації про зміну поточного характеру відповідного технологічного процесу. Таку інформацію в ДЦ видають підсистеми нижнього рівня, а саме стрілки, світлофори, рейкові ланцюги, дискретні і безперервні колійні перетворювачі, пристрої розпізнавання поїздів, локомотивів, вагонів та ін.

Теорія і розробка колійних перетворювачів для магістрального транспорту розглядається в роботах Брилеєва А.М., Котляренка М.Ф., Дмитренка І.Е., Кравцова Ю.А., Пенкіна М.Ф., Шишлякова А.П., Красовського М.А., Аркатова В.С., Дмитреєва В.С., Мініна В.А., Бухгольца В.П., Штанке А.Е., В. Феннера, К. Фішера, О.Поупе та ін. Методологія побудови мікропроцесорних пристроїв пізнання залізничних об'єктів на магістральному і промисловому транспорті викладена в працях Соболева Ю.В., Загарія Г.І., Лісенкова В.М., Чанцева К.А. та ін. Структурам побудови автоматизованих систем управління рухом поїздів метрополітенів присвячені роботи Баранова Л.А., Єрофєєва Е.В. та ін.

Проте, в цей час певна частина персоналу в системі перевезень вантажів ще зайнята ручним збором і ручною обробкою даних, оскільки автоматизовані пристрої розпізнавання і передачі повідомлень в центри диспетчерського управління про об'єкти, що контролюються, на магістральному транспорті України відсутні.

Враховуючи важливість розв'язання даної проблеми в рамках програми впровадження інформаційних технологій, на залізницях Росії ведеться розробка прикладних задач комплексної автоматизації технологічних процесів управління вантажними і пасажирськими перевезеннями. У їх числі однією з найважливіших є система контролю дислокації вагонного парку (ДИСПАРК) на базі вагонної динамічної моделі. Вона передбачає пономерний облік вагонів для ведіння роботи з національним парком рухомого складу, що дозволяє автоматизувати систему розрахунків із залізницями інших країн СНД. Є повідомлення про високу ефективність роботи даної системи, але інформаційної підтримки на нижньому рівні вона не має.

Новітні автоматизовані системи ідентифікації (такі як ATIS фірми Timtec GmbH - Німеччина) забезпечують отримання вичерпної інформації про місцеположення, стан і технічну справність вагонів, однак вони вимагають установки на вагонах активних або пасивних кодоносіїв, що обмежує область їх застосування і особливо на магістральному транспорті України, охопленому мережею пересічних європейських транспортних коридорів. Тому в дисертаційній

роботі пропонується методологія інформаційного забезпечення перевізного процесу, заснована на технологіях, що орієнтуються на незамкнені транспортні потоки і що не вимагають при впровадженні переобладнання об'єктів, що контролюються.

У заключній частині розділу сформульовані основні проблеми, які обумовлюють мету проведених досліджень і перераховані задачі, що вирішуються в дисертації.

**У другому розділі** розглядаються теоретичні основи побудови автоматизованих систем розпізнавання рухомих об'єктів залізничного транспорту, в яких ідентифікація транспортних засобів проводиться без порушення технологічного процесу руху. Дана методика передбачає наявність пристроїв запису і зчитування інформації, керованих обчислювальним комплексом.

При підході поїзда до пункту запису паралельно з розпізнаванням і маркуванням вагонів формується база даних про склад, якому присвоюється ідентифікаційний код, що наноситься на колісні пари. Тому кожний рухомий склад, маючи певний код, може бути виявлений в межах заданого регіону. Пристрої запису містять як маркери різного роду колійні елементи, призначені для магнітної обробки коліс - функціональні намагнічувачі (рис. 1). Знання конкретної залежності розподілу електромагнітного поля в магнітопроводах функціональних намагнічувачів значною мірою полегшує оптимізаційні задачі, пов'язані з проектуванням і розробкою реальних об'єктів магнітної обробки коліс рухомого складу.

Рис.1. Колійний намагнічувач:

- 1 - феромагнітне осердя намагнічувача;
- 2 - обмотки електромагніта;
- 3 - колісна пара;
- 4 - головка рейки;
- 5 - вісь колісної пари

Розіб'ємо умовно на три зони області розподіл електромагнітного поля, що створюється первинним перетворювачем:

- феромагнітні ділянки магнітопроводів;
- повітряні зазори;

– зони обмоток, що намагнічують, зі струмом.

Система рівнянь Максвелла в загальному вигляді записується таким чином:

$$\nabla \times \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{\delta}_{cm} ; \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} ; \quad (2)$$

де  $H$  - напруженість магнітного поля;  
 $\gamma$  - питома електрична провідність середовища;  
 $E$  - напруженість електричного поля;  
 $D$  - електрична індукція;  
 $\delta_{cm}$  - щільність стороннього струму;  
 $B$  - індукція;  
 $\mu_a$  - абсолютна магнітна проникність;  
 $\Phi_p$  - магнітний потік.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 ; \quad (3)$$

$$\vec{B} = \mu_a \cdot \vec{H} , \quad (4)$$

Для першої зони справедливі такі допущення у випадку, коли при розрахунку і моделюванні проводиться облік вихрових струмів:

$$\nabla \times \vec{H} = \gamma \vec{E} .$$

Для другої зони справедливі такі допущення:

$$\nabla \times \vec{H} ;$$

$$\mu_a = \mu_o .$$

З урахуванням цих допущень запишемо

$$\nabla \times \vec{H} = \nabla \times \frac{\vec{B}}{\mu_o} = \nabla \times \vec{B} = 0 ; \quad (5)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} = 0 . \quad (6)$$

Нехай  $A=0$ , тоді

$$\nabla^2 \vec{A} = 0$$

або

$$\begin{cases} \nabla^2 A_x = 0 \\ \nabla^2 A_y = 0 \end{cases} . \quad (7)$$

У другій зоні вірний також і вираз для скалярного магнітного потенціалу

$$\nabla \cdot \vec{B} = \nabla \cdot \mu_o \cdot \vec{H} = \nabla \cdot [\mu_o (-\nabla \varphi_m)] = 0 .$$

Звідси

$$\nabla^2 \varphi_m = 0. \quad (8)$$

Для третьої зони справедливі такі допущення:

$$\mu_a = \mu_o;$$

$$\vec{\delta}_{cm} = 0;$$

$$\gamma \cdot |\vec{E}| \gg \left| \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right|;$$

$$\gamma = const.$$

З урахуванням допущень запишемо

$$\nabla \times \vec{H} = \gamma \cdot \vec{E}; \quad (9)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad (10)$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}. \quad (11)$$

Перетворюючи ці вирази, отримаємо

$$\nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (12)$$

або

$$\nabla \times \left( \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0. \quad (13)$$

Якщо ротор вектора рівний нулю, то поле цього вектора потенційне. Тому можна прийняти

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad } \varphi, \quad (14)$$

де  $\varphi$  - потенціал електричного поля.

$$\nabla \cdot (\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} = -\gamma \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \gamma \cdot \mu_o \cdot \nabla \cdot \varphi. \quad (15)$$

Дивергенцію вектора  $\vec{A}$  визначимо в цьому випадку таким чином:

$$\nabla \cdot \vec{A} = -\gamma \cdot \mu_o \cdot \varphi.$$

З урахуванням заданої дивергенції вираз (15) остаточно набуде вигляду

$$\nabla^2 \vec{A} - \gamma \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0 \quad (16)$$

або у разі плоского поля

$$\begin{cases} \nabla^2 A_x - \gamma \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \bar{A}_x}{\partial t} = 0 \\ \nabla^2 A_y - \gamma \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \bar{A}_y}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$\nabla^2 \bar{B} - \gamma \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = 0.$$

(18)

Отже, магнітне поле у всіх трьох зонах первинного перетворювача описується диференціальними рівняннями з розділеними компонентами відносно магнітного векторного потенціалу  $\bar{A}$ . Отримані рівняння використані при створенні сіткової моделі, що дозволяє здійснити фізичне моделювання електромагнітних полів в активних елементах намагнічувача. У роботі встановлена подібність рівнянь, що описують розподіл поля намагнічувача, і рівнянь стану електричної сітки. Для розрахунку і оптимізації функціональних намагнічувачів необхідно встановити ефективний перетин повітряного зазору як з боку рейки, так і з боку колеса, через яке замикається робочий магнітний потік. Тому в дисертації проводився експеримент по фізичному моделюванню розподілення магнітного поля для трьох плоскопаралельних перетинів, один з яких проходить по зовнішній поверхні рейки і колісної пари при  $b = 0$ , а два інших – на відстані  $b = 1$  см і  $b = 2$  см, відповідно, від першого. Ширина цього перетину буде визначатися товщиною головки рейки і товщиною бандажа колісної пари, а довжина обмежуватися лініями умовно нульового магнітного потоку. Експеримент показав, що в повітряному зазорі, ширина якого перевищує  $8h$  ( $h$ - крок сітки), величина індукції в кожній точці силової лінії практично однакова, а отже, границю умовно нульового потоку можна вважати співпадаючою з крайньою силовою лінією магнітного поля.

Запропоновано алгоритм роботи адаптивного пристрою зчитування інформації і зроблено аналіз впливу перешкод на роботу вимірювальних приймачів. Схема введення сигналів від дискретного датчика (ферозонда) представлена на рис.2.

Рис.2. Схема введення сигналів від ферозонда:  
1 - ферозонд, 2 - підсилювач-перетворювач

$W_S$  являє собою передаточну функцію всього тракту перетворення, а  $h_t$  - його імпульсну перехідну характеристику.

У схемі можуть мати місце такі перешкоди зі спектральною щільністю:

1. «Послідовний» білий шум від зовнішніх наведень  

$$E_n^2 = a; \tag{19}$$

2. «Паралельний» білий шум від зовнішніх наведень  

$$I_n^2 = b; \tag{20}$$
  

$$I_n^2 = b;$$

3. «Послідовний» білий шум, який викликається процесами в напівпровідниках, що використовуються в схемі перетворювача

$$E_f^2 = \frac{a_f}{|f|}; \tag{21}$$

4. «Паралельний» білий шум, який викликається процесами в діелектриках, що використовуються в схемі перетворювача

$$I_f^2 = b_f \cdot f. \tag{22}$$

Всі розглянуті шуми можуть бути представлені у вигляді еквівалентної перешкоди зі спектральною щільністю

$$i_n^2 = N(\omega) = aC^2\omega^2 + \left(\frac{bf}{2\pi} + 2\pi a f C^2\right)|\omega| + b. \tag{23}$$

Оптимальне відношення сигнал/перешкода може бути отримане у вигляді такого співвідношення:

$$\left(\frac{C}{n}\right)_{opt}^2 = \frac{Q^2}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|G(\omega)|^2}{N(\omega)} d\omega, \tag{24}$$

де  $G(\omega)$  - перетворення Фур'є для вхідного імпульсного сигналу  $Q\delta(t)$ .

$$\left(\frac{C}{n}\right)_{opt}^2 = \frac{2Q^2}{\pi E_\infty^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-k^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-k^2}}{k} \tag{25}$$

при  $k < 1$ ,

$$\left(\frac{C}{n}\right)_{opt}^2 = \frac{2Q^2}{\pi E_\infty^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-k^2}} \ln \frac{k + \sqrt{k^2 - 1}}{k - \sqrt{k^2 - 1}} \tag{26}$$

при  $k > 1$ .

$$k = \frac{1}{E_\infty^2} \left( \frac{b_f}{2\pi} + 2\pi a_f C^2 \right), \tag{27}$$

$$E_{\infty}^2 = C\sqrt{4ab}. \quad (28)$$

$E_{\infty}^2$  можна розглядати як квадрат еквівалентного шумового заряду для послідовного і паралельного білого шуму, що викликаний оптимальною ваговою функцією з невизначеним піком  $E_{\infty}^2 \exp(-|t|/\tau_c)$ , де  $\tau_c = C\sqrt{ab}$  - постійна часу так званого «шумового кореня».

Слід відзначити, що  $\frac{1}{f}$  - перешкода, викликана тією ж ваговою функцією, дасть шумовий заряд

$$E_{\frac{1}{f}}^2 = \left( \frac{b_f}{2\pi} + 2\pi a_f C^2 \right) \frac{4}{2\pi}, \quad (29)$$

незалежний від тимчасової шкали вагової функції. Об'єднуючи (27) і (29), можна одержати вираз для  $k$

$$k = \frac{\pi}{2} E_{\frac{1}{f}}^2 / E_{\infty}^2. \quad (30)$$

Величина  $k$  може бути інтерпретована як відношення двох квадратів «шумових зарядів», оцінюваних для оптимальної вагової функції з невизначеним піком

$$\frac{E^2}{E_{\infty}^2} = f(k), \quad (31)$$

$$\frac{E^2}{E_{\infty}^2} = 1 + \frac{2}{\pi} k. \quad (32)$$

Можна сказати, що ця функція являє собою «оптимум тільки для білого шуму». Час нормалізовано по відношенню до постійної часу «шумового кореня»  $\tau_c = C\sqrt{ab}$ . У частотній області оптимальна передаточна функція може бути представлена у вигляді

$$H(j\omega) = B \frac{\exp(-j\omega\tau_p)}{N(\omega)}, \quad (33)$$

де  $B$  - коефіцієнт пропорційності.

Запишемо вираз для вагової функції

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos\omega t}{N(\omega)} d\omega = \frac{1}{C\sqrt{4ab}} \int_0^{\infty} \frac{\cos(x t/\tau_c)}{x^2 + 2kx + 1} dx. \quad (34)$$



Обчислення (34) і запис його відносно нормалізованого часу дає

$$h\left(\frac{t}{\tau_c}\right) = \frac{J_m \left\{ g \left[ \left( k - i\sqrt{1-k^2} \right) \frac{t}{\tau_c} \right] \right\}}{\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-k^2}}{k}} \quad (35)$$

при  $k < 1$ ,

$$h\left(\frac{t}{\tau_c}\right) = \frac{g \left[ \left( k - \sqrt{k^2 - 1} \right) \frac{t}{\tau_c} \right] - g \left[ \left( k + \sqrt{k^2 - 1} \right) \frac{t}{\tau_c} \right]}{\ln \frac{k + \sqrt{k^2 - 1}}{k - \sqrt{k^2 - 1}}} \quad (36)$$

при  $k > 1$ .

На рис.3 наведені графіки оптимальних вагових функцій для різних значень  $k$ , побудовані у відповідності до виразів (35) і (36).

Рис. 3. Форма оптимальної вагової функції в залежності від часу

Як видно, вагові функції мають пік, який дорівнює 1, подібний до класичної експотенціальної функції  $y = \exp(-|t|/\tau_c)$ , що має місце за відсутності  $\frac{1}{f}$  шуму та відповідає ваговій функції при  $k = 0$ .

У заключній частині розділу синтезований алгоритм розпізнавання і маркування вагонів, котрий дозволяє отримувати інформацію про розподіл рухомих одиниць за типами осності (чотирьох -, шести -, восьмиосьові або з непарною кількістю осей) в залізничному складі, що обробляється. Розпізнавання візків базується на результатах дослідження динаміки рухомих одиниць, які показали, що швидкість окремого вагона або локомотива за час проходження

відстані, рівної довжині візка цього вагона або локомотива, змінюється не більш ніж на 20%. Таким чином, затримка надходження сигналу від чергової колісної пари, що перевищує більш ніж на 20 % тимчасовий інтервал між першими двома колісними парами візка, надійно свідчить про закінчення проходження чергового візка мимо колійного датчика. Запропонована структурна схема пристрою, що реалізує розроблений алгоритм.

**У третьому розділі** розглядається методика розпізнавання колісних пар рухомих складів в зоні дії колійних датчиків.

Приймемо для опису процесів, що спостерігаються, таку модель:

$$u_1(t) = \lambda a_1 \cdot s_1(m_t t - t_n) + n_1(t); \quad (37)$$

$$u_2(t) = \lambda a_2 \cdot s_2(m_t(t - \tau) - t_n) + n_2(t); \quad (38)$$

$$t \in [T_1, T_2].$$

Тут  $\lambda$  - параметр виявлення;

$\lambda = \lambda_1 = 1$ , якщо об'єкт знаходився у зоні контролю на інтервалі спостереження;

$\lambda = \lambda_0 = 0$ , якщо ця умова не виконана;

$a_i (i = 1, 2)$  – амплітуда корисного компонента  $i$ -го процесу, що спостерігається;

$S_1(\cdot), S_2[\cdot]$  - функції часу, що описують форму корисного компонента відповідно першого і другого процесу  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$ , що спостерігається;

$m_t$  - масштабний множник, що задає швидкість зміни функцій  $S_1(\cdot)$  і  $S_2[\cdot]$  у часі в залежності від швидкості  $V$  переміщення об'єкта в зоні контролю;

$t_n$  - затримка появи корисного компонента першого процесу, що спостерігається, по відношенню до моменту  $t = T_1$  початку інтервалу спостереження;  $\tau$  - затримка коливання  $S_2[\cdot]$  по відношенню до коливання  $S_1(\cdot)$  при  $m_t = 1$ , тобто при деякому значенні швидкості  $V$ , прийнятому за номінальне;

$n_i(t) (i = 1, 2)$  - перешкодовий компонент  $i$ -го процесу, що спостерігається.

Будемо вважати, що всі об'єкти, що контролюються, проходять зону контролю з випадковими швидкостями, рівномірно розподіленими в діапазоні від мінімального  $V_{\min}$  до максимального  $V_{\max}$  значення. Номінальне значення швидкості  $V_n = (V_{\min} + V_{\max}) / 2$ . Тоді масштабний множник  $m_t = V / V_n$  також є випадковою величиною, рівномірно розподіленою на інтервалі  $[m_{t\min}, m_{t\max}]$ .

Відповідна щільність імовірності є

$$p(m_t) = \begin{cases} \frac{1}{m_{t\max} - m_{t\min}}, & m \in [m_{t\min}, m_{t\max}] \\ 0, & m \in [m_{t\min}, m_{t\max}] \end{cases}. \quad (39)$$

Чисельне значення параметра  $t_n$  визначається переважно поведінкою об'єкта перед входом в зону контролю, тому будемо вважати це значення незалежною величиною з щільністю імовірності

$$p(t_n) = \begin{cases} \frac{1}{t_{n_{\max}} - t_{n_{\min}}}, & t_n \in [t_{n_{\max}}, t_{n_{\min}}]; \\ 0, & t_n \notin [t_{n_{\max}}, t_{n_{\min}}], \end{cases}$$

(40)

де  $t_{n_{\max}}$  і  $t_{n_{\min}}$  - відповідно максимальне і мінімальне значення параметра  $t_n$ .

З фізичних міркувань слід чекати наявності статистичного зв'язку величин  $a_1$  і  $a_2$ . Прийнемо як характеристику такого зв'язку спільну щільність імовірності і покладемо її гауссівською

$$p(a_1, a_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_{A1}\sigma_{A2}\sqrt{1-R_{A12}^2}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2(1-R_{A12}^2)} \left[ \frac{(a_1 - \alpha_1)^2}{\sigma_{A1}^2} - \frac{2R_{A12}(a_1 - \alpha_1)(a_2 - \alpha_2)}{\sigma_{A1}\sigma_{A2}} + \frac{(a_2 - \alpha_2)^2}{\sigma_{A2}^2} \right]\right\}, \quad (41)$$

де  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  - математичні сподівання відповідно величин  $a_1$  та  $a_2$ ;

$\sigma_{A1}$  та  $\sigma_{A2}$  - середньоквадратичні значення відповідно величин  $a_1$  та  $a_2$ ;

$R_{A12}$  - коефіцієнт кореляції.

Перешкодові компоненти  $n_i(t)$  ( $i=1,2$ ) будемо вважати взаємно незалежними стаціонарними в широкому значенні гауссівськими випадковими процесами зі спектральною щільністю потужності

$$S_{n_i}(f) = \begin{cases} \frac{N_{0i}}{2}, & f \in [-F, F]; \\ 0, & f \notin [-F, F], \quad (i=1,2) \end{cases} \quad (42)$$

і, отже, дисперсіями

$$\sigma_{n_i}^2 = N_{0i} F \quad i = 1, 2,$$

причому гранична частота  $F$  спектра перешкод покладається більшою, ніж найвища з частот спектра корисних компонентів. Будемо вважати, що амплітуди корисних компонентів процесів, що спостерігаються, хоч і є випадковими величинами, але пов'язані прямо пропорційною залежністю

$$a_2 = m_A a_1,$$

де  $m_A$  - відомий не випадковий коефіцієнт.

З урахуванням цього допущення модель процесів, що спостерігаються, набере вигляду

$$u_1(t) = \lambda a_1 s_1(m_t t - t_n) + n_1(t); \quad (43)$$

$$u_2(t) = \lambda m_A a_1 s_2[m_t(t - \tau) - t_n] + n_2(t). \quad (44)$$

У цій моделі неістотні параметри утворюють вектор  $\vec{\eta}=(a_1, m_t, t_n)^T$ . Випадкова величина  $a_1$  має щільність імовірності

$$p(a_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{A1}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(a_1 - \alpha_1)^2}{2\sigma_{A1}^2} \right\}. \quad (45)$$

Випадкова величина  $a_1$  статистично незалежна від випадкових величин  $m_t$  та  $t_n$ , які, у свою чергу, також статистично незалежні. Завдання виявлення об'єкта, що контролюється, шляхом обробки процесів, які спостерігаються,  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$  може розглядатися як завдання оцінювання параметра  $\lambda$  прийнятої моделі за наявності неістотних параметрів  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $m_t$ ,  $t_n$ . Щоб отримати функцію правдоподібності процесів, що спостерігаються, у формі, яка може бути інтерпретована як доступний для реалізації алгоритм спільної обробки цих процесів  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$ , модифікуємо  $p(m_t)$  і  $p(t_n)$ , поклавши ці параметри дискретними:

$$p(m_t) = \sum_{k=1}^K P_{mk} \cdot \delta(m_t - m_{tk});$$

(46)

$$p(t_n) = \sum_{l=1}^L P_{tl} \cdot \delta(t_n - t_{nl}).$$

Запишемо вираз для функції правдоподібності, виключивши її залежність від неістотних параметрів

$$p(u_1, u_2 / \lambda) = C_{NU} \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_{mk} P_{tl} \cdot \int_{a_{1\min}}^{a_{1\max}} p(a_1) \cdot \exp \left\{ -a_1^2 \cdot M(\lambda, k) + a_1 \cdot Q(\lambda, k, l) \right\} da_1, \quad (47)$$

де

$$M(\lambda, k) = \frac{\lambda^2 m_{tk} \tau_{n1}}{N_{01}} + \frac{\lambda^2 m_A^2 m_{tk} \tau_{n2}}{N_{02}};$$

(48)

$$Q(\lambda, k, l) = \frac{2\lambda}{N_{01}} \int_0^T u_1(t) \cdot s_1(m_{tk}t - t_{nl}) dt + \frac{2\lambda m_A}{N_{02}} \int_0^T u_2(t) \cdot s_2[m_{tk}(t - \tau) - t_{nl}] dt. \quad (49)$$

Позначимо у виразі (47) інтеграл як  $I(\lambda, k, l)$  і обчислимо цей інтеграл, підставивши в нього  $p(a_1)$

$$I(\lambda, k, l) = \frac{e^{-\frac{\alpha_1^2}{2\sigma_{A1}^2}}}{\sqrt{2\pi} \sigma_{A1}} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2}}} \cdot \exp \left\{ \frac{\left[ Q(\lambda, k, l) + \frac{\alpha_1}{\sigma_{A1}^2} \right]^2}{4 \left[ M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2} \right]} \right\}.$$

$$\left\{ \operatorname{erf} \left[ a_{1\max} \sqrt{M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2}} + \frac{Q(\lambda, k, l) + \frac{\alpha_1}{\sigma_{A1}^2}}{2\sqrt{M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[ a_{1\min} \sqrt{M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2}} + \frac{Q(\lambda, k, l) + \frac{\alpha_1}{\sigma_{A1}^2}}{2\sqrt{M(\lambda, k) + \frac{1}{2\sigma_{A1}^2}}} \right] \right\}. \quad (50)$$

При  $\lambda = \lambda_0 = 0$  маємо  $M(0, k) = 0$ ,  $Q(0, k, l) = 0$  і

$$I(0, k, l) = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{a_{1\max} + \alpha_1}{\sigma_{A1} \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{a_{1\min} + \alpha_1}{\sigma_{A1} \sqrt{2}} \right) \right] = I_0, \quad (51)$$

причому величина  $I_0$  не залежить від  $k$  і  $l$ .

Таким чином, у відповідності до (47) і (51) маємо

$$p(u_1, u_2 / \lambda_0) = C_{NU} \cdot I_0 \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_{mk} \cdot P_{ll} = C_{NU} \cdot I_0. \quad (52)$$

При  $\lambda = \lambda_1 = 1$  значення  $Q(1, k, l)$  і  $M(1, k)$  є, згідно (48) і (49), функціоналами від  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$ . Цьому значенню параметра  $\lambda$  відповідає  $I(1, k, l)$ . У підсумку

$$p(u_1, u_2 / \lambda_1) = C_{NU} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_{mk} \cdot P_{ll} \cdot I(1, k, l). \quad (53)$$

Враховуючи, що щільності імовірності (46) є, стосовно до задачі, що вирішується, дискретними сигналами щільностей імовірності (39) і (40), отримаємо

$$P_{mk} = \frac{1}{K}, \quad P_{ll} = \frac{1}{L}, \quad p(u_1, u_2 / \lambda_1) = \frac{C_{NU}}{KL} \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L I(1, k, l). \quad (54)$$

У результаті алгоритм прийняття рішення має такий вигляд:

$$\hat{\lambda} = \begin{cases} \lambda_0, & \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L I(1, k, l) < K \cdot L \cdot I_0 \cdot \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda_1)}; \\ \lambda_1, & \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L I(1, k, l) > K \cdot L \cdot I_0 \cdot \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda_1)}. \end{cases} \quad (55)$$

Синтезований субоптимальний алгоритм виявлення об'єкта, що контролюється, шляхом комплексування двох датчиків реалізується у вигляді багатоканального пристрою, структурна схема якого подана на рис.4. Цей пристрій виносить рішення про наявність об'єкта ( $\lambda = 1$ ), якщо сума функціоналів  $I(1, k, l)$ , обчислених за всіма можливими значеннями  $k$  і  $l$ , перевищує поріг

$KLI_0 P(\lambda_0)/P(\lambda_1)$  і рішення про відсутність об'єкта - коли ця сума порогу не перевищує.

Рис.4. Багатоканальний виявляч:  
ПП – пороговий пристрій

У роботі синтезовано субоптимальний одноканальний виявляч і дана оцінка характеристик якості виявлення об'єкта. Отримані співвідношення для розрахунку умовної імовірності правильного виявлення об'єкта і умовної імовірності помилкової тривоги

$$P_{\text{ПО}} = 1 - 0,5 \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha_1 \sqrt{Z} - 2q_{12}^2 - A^2}{\frac{1}{A} \sqrt{8q_{12}^4 + 4A^2 q_{12}^2}} \right) + \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha_1 \sqrt{Z} + 2q_{12}^2 + A^2}{\frac{1}{A} \sqrt{8q_{12}^4 + 4A^2 q_{12}^2}} \right) \right], \quad (56)$$

$$P_{\text{ЛТ}} = 1 - 0,5 \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha_1 \sqrt{Z} - A^2}{2q_{12}} \right) + \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha_1 \sqrt{Z} + A^2}{2q_{12}} \right) \right], \quad (57)$$

де

$$\alpha_1 \sqrt{Z} = 2 \sqrt{q_{12}^2 + \frac{A^2}{2}} \cdot \sqrt{\ln \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda_1)} - \ln \left[ \frac{Ae^{-\frac{A^2}{2}}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{q_{12}^2 + \frac{A^2}{2}}} \right]}, \quad (58)$$

$$Z = \left\{ \frac{F \left[ \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda_1)}, A, q_{12} \right]}{\alpha_1} \right\}^2, \quad (59)$$

$$q_1(\lambda, a_1) = \frac{2\lambda a_1 s_1}{N_{01}} \int_0^T u_1(t) dt, \quad (60)$$

$$q_2(\lambda, a_1) = \frac{2\lambda \cdot m_A a_1 s_2}{N_{02}} \int_0^T u_2(t) dt, \quad (61)$$

$$q_1^2 = \frac{\alpha_1^2 s_1^2 T}{N_{01}} - \text{відношення енергії середньостатистичного значення корисного}$$

компонента першого процесу, що спостерігається, до спектральної щільності потужності перешкодового компонента цього процесу;

$$q_2^2 = \frac{m_A^2 \alpha_1^2 s_2^2 T}{N_{02}} - \text{аналітичне відношення для другого процесу, що}$$

спостерігається;

$$A = \alpha_1 / \sigma_{A1} - \text{параметр групування щільності імовірності амплітуди;}$$

$$q_{12}^2 = q_1^2 + q_2^2 - \text{узагальнений енергетичний параметр.}$$

Вираз (57) дозволяє за відомими апіорними імовірностями наявності і відсутності об'єкта, за імовірнісними характеристиками корисного компонента і за його енергетичними характеристиками корисних і перешкодових компонентів обчислити величину порогового рівня  $Z$ , що використовується в синтезованих виявлячах.

У заключній частині розділу наводяться порівняльні характеристики результатів розрахунку якості виявлення синтезованих пристроїв. Вибіркові результати розрахунків для параметрів  $P(\lambda_0) = 0,7$ ,  $P(\lambda_1) = 0,3$  представлені у таблиці.

Таблиця

$q_{12}^2$		0,1	1	10	80	640
$P_n$	A=3	0,0626	0,5245	0,9113	0,9731	0,9903
	A=6	0,0597	0,5605	0,9465	0,9924	0,9981
	A=12	0,0590	0,5706	0,9573	0,9979	0,9999
	A=24	0,0588	0,5733	0,9602	0,9989	0,999996
$P_n$	A=3	0,3075	0,2001	0,0519	0,0199	0,0112
<i>сер.</i>	A=6	0,3076	0,1929	0,0372	0,0059	0,0017
	A=12	0,3076	0,1909	0,0319	0,0018	$0,95 \cdot 10^{-4}$
	A=24	0,3076	0,1904	0,0304	$0,96 \cdot 10^{-3}$	$0,36 \cdot 10^{-5}$

**У четвертому розділі** розглядається методологія побудови пристроїв розпізнавання образів залізничних транспортних засобів. Представимо завдання визначення типу об'єкта, що контролюється, у вигляді оцінки інформаційних параметрів  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  корисного сигналу, який утримує заважаючі параметри  $a, t_d$  та спостерігається на фоні гауссівського шуму з рівномірним обмеженим спектром. Модель вхідного сигналу пристрою розпізнавання запишемо як

$$x(t) = \lambda_1 a s[Q(t - t_d)] + \lambda_2 a s[Q(t - \tau - t_d)] + \lambda_3 a s[\theta(t - 2\tau - t_d)] + n(t), \quad (62)$$

де  $t \in [T_1, T_2]$ ;

$s(t)$  - імпульсна функція одиничної амплітуди (нормований відгук датчика);

$\lambda_i$  - двійковий параметр, який визначає наявність ( $\lambda_i=1$ ) або відсутність ( $\lambda_i=0$ )  $i$ -ї колісної пари у візку.

Положимо, що для однієї осі  $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = \lambda_3 = 0$ ; для двохосьового візка  $\lambda_1 = \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 0$ ; для трьохосьового -  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$ ;  $a$  - амплітуда імпульсу;  $\theta$  - множник, який визначає часовий масштаб нормованого відгуку датчика  $S(t)$ .

$$\theta = V/V_{nom}, \quad V_{nom} \in [V_{min}, V_{max}], \quad (63)$$

де  $V$  - поточна швидкість горизонтального переміщення колісної пари;

$V_{nom}$  - заздалегідь задане номінальне значення швидкості;

$t_d$  - час затримки появи відгуку від першої колісної пари по відношенню до моменту  $t = T_1$  включення датчика;

$\tau$  - часова відстань між відгуками, ініційованими сусідніми колісними парами, при номінальній швидкості руху візка;

$T_1, T_2$  - відповідно час включення і час відключення колійного датчика.

Приймемо, що тривалість інтервалу часу  $\Delta T = T_2 - T_1$  така, що вона цілком охоплює час проходження повз датчик трьохосьового візка при будь-якій його швидкості із діапазону  $[V_{min}, V_{max}]$ ;  $n(t)$  - адитивна перешкода.

Зведемо всі інформаційні параметри у вектор  $\vec{\Lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)^T$ , а всі заважаючі параметри - у вектор  $\vec{\Theta} = (a, t_d)^T$ , де символ "T" означає операцію транспонування. Згідно з моделлю (62), на практиці може існувати тільки чотири вектори  $\vec{\Lambda}$  :

1.  $\vec{\Lambda}_0 = (0, 0, 0)^T$  при відсутності корисного сигналу. Припишемо цій ситуації імовірність  $P_0$ .

При цьому

$$x(t) = s_0 + n(t), \quad \text{де } s_0 = 0; \quad (64)$$



2.  $\vec{\Lambda}_1 = (1 \ 0 \ 0)^T$ , коли зону контролю пройшла одна вісь. Припишемо цій ситуації імовірність  $P_1$ .

При цьому

$$x(t) = s_1(t, \vec{\Lambda}_1, \vec{\Theta}) + n(t), \quad (65)$$

де

$$s_1(t, \vec{\Lambda}_1, \vec{\Theta}) = a \cdot s[\theta(t - t_d)]; \quad (66)$$

3.  $\vec{\Lambda}_2 = (1 \ 1 \ 0)^T$ , коли візок двохосьовий.

Припишемо цій ситуації імовірність  $P_2$ .

При цьому

$$x(t) = s_2(t, \vec{\Lambda}_2, \vec{\Theta}) + n(t), \quad (67)$$

(67)

де

$$s_2(t, \vec{\Lambda}_2, \vec{\Theta}) = a \cdot s[\theta(t - t_d)] + a \cdot s[\theta(t - \tau - t_d)];$$

(68)

4.  $\vec{\Lambda}_3 = (1 \ 1 \ 1)^T$ , коли візок трьохосьовий.

Припишемо цій ситуації імовірність  $P_3$ .

При цьому

$$x(t) = s_3(t, \vec{\Lambda}_3, \vec{\Theta}) + n(t), \quad (69)$$

де

$$s_3(t, \vec{\Lambda}_3, \vec{\Theta}) = a \cdot s[\theta(t - t_d)] + a \cdot s[\theta(t - \tau - t_d)] + a \cdot s[\theta(t - 2\tau - t_d)].$$

(70)

Рішення задачі спільного виявлення сигналів  $s_0(\cdot)$ ,  $s_1(\cdot)$ ,  $s_2(\cdot)$ ,  $s_3(\cdot)$  на фоні перешкод в дисертації виконано на основі критерію максимуму апостеріорної імовірності (MAI) для однієї осі, двохосьових та трьохосьових візків. У підсумку усереднена за заважаючими параметрами функція правдоподібності  $p(x|\vec{\Lambda}_3, \vec{\Theta})$  (для трьохосьового візка) записується як

$$\begin{aligned}
p(x|\bar{\Lambda}_3) = & H_{12} - \frac{\sqrt{\pi}H(2A^2 + \sigma_a^2)}{8N_0\Delta t_d\theta} (C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32}) + \\
& + \frac{HA}{N_0\Delta t_d\theta} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \int_{T_1}^{T_2} x(t) \{ \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\min})] + \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\min} - \tau)] + \\
& + \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\min} - 2\tau)] - \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\max})] - \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\max} - \tau)] - \operatorname{erf}[\theta(t - t_{d\max} - 2\tau)] \} , \quad (71)
\end{aligned}$$

де

$$H = \frac{1}{(2\pi F_n N_0)^{F_n(T_2 - T_1)}} , \quad (72)$$

$$H_{12} = H - \frac{H}{N_0} \int_{T_1}^{T_2} x^2(t) dt - \text{постійна величина для конкретної реалізації сигналу}$$

$x(t)$  на інтервалі часу  $[T_1, T_2]$ ,

$$\int_{a_{\min}}^{a_{\max}} a p_a(a) da = \frac{A}{\sqrt{2}} ,$$

$(C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32})$  - табличні інтеграли та постійні коефіцієнти.

Сам алгоритм та його складові можуть бути розповсюджені на випадок довільної кількості  $i$  осей вагонного візка. Розглянуті два способи реалізації блоків обчислення функцій правдоподібності:

- шляхом безпосереднього виконання математичної операції над прийнятим сигналом, езультатом чого буде кореляційний приймач (рис. 5);
- системою узгоджених фільтрів.

### Рис.5. Кореляційний приймач

Для оцінки достовірності рішень, що приймаються, позначимо сигнал на  $i$ -му вході вирішуючого пристрою як  $Y_i$ , а спільну щільність імовірності вхідних сигналів як  $p(Y_0, Y_1, Y_2, Y_3)$ .

Вхідні сигнали вирішуючого пристрою можуть бути записані у такому вигляді:

$$Y_0 = 0;$$

$$Y_1 = -\frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}(C_{11} - C_{12}) + \frac{A\sqrt{\pi}}{4} \int_{T_1}^{T_2} x(t) \operatorname{Re} f_1(t) dt, \quad (73)$$

$s_1(t) = \exp[\theta^2(t - t_d)^2]$  - сигнальний імпульс,

$$Y_2 = -\frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}(C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22}) + \frac{A\sqrt{\pi}}{4} \int_{T_1}^{T_2} x(t) \cdot [\operatorname{Re} f_1(t) + \operatorname{Re} f_2(t)] dt, \quad (74)$$

$$Y_3 = -\frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}(C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32}) + \frac{A\sqrt{\pi}}{4} \int_{T_1}^{T_2} x(t) [\operatorname{Re} f_1(t) + \operatorname{Re} f_2(t) + \operatorname{Re} f_3(t)] dt. \quad (75)$$

Графік функції  $\operatorname{Re} f_1(t)$  має вигляд, який представлений на рис.6.

Сукупність останніх чотирьох виразів дозволяє обчислити імовірності помилок  $P_{ni}$  при контролі одно- двох- і трьохосьових візків, а потім визначити середню імовірність помилки

$$P_{n0} = 1 - \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 p(Y_1, Y_2, Y_3) dY_1 dY_2 dY_3, \quad (76)$$

$$P_{n1} = 1 - \int_0^{\infty} dY_1 \int_{-\infty}^{Y_1} \int_{-\infty}^{Y_1} p(Y_1, Y_2, Y_3) dY_2 dY_3, \quad (77)$$

$$P_{n2} = 1 - \int_0^{\infty} dY_2 \int_{-\infty}^{Y_2} \int_{-\infty}^{Y_2} p(Y_1, Y_2, Y_3) dY_1 dY_3, \quad (78)$$

$$P_{n3} = 1 - \int_0^{\infty} dY_3 \int_{-\infty}^{Y_3} \int_{-\infty}^{Y_3} p(Y_1, Y_2, Y_3) dY_1 dY_2, \quad (79)$$

де

$$\begin{aligned} p(Y_1, Y_2, Y_3) = & \frac{1}{(\sigma_A d_1 \sqrt{2\pi})^3} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{\sigma_A^2 d_1^2} Y_1^2 - \frac{1}{\sigma_A^2 d_1^2} Y_2^2 - \frac{1}{2\sigma_A^2 d_1^2} Y_3^2 - \right. \\ & - \left( \frac{2g_1 - g_2}{\sigma_A^2 d_1^2} - \frac{2a\sqrt{\pi}}{\sigma_A^2 \theta d_1} \right) Y_1 - \left( \frac{2g_2 - g_1 - g_3}{\sigma_A^2 d_1^2} - \frac{2a\sqrt{\pi}}{\sigma_A^2 \theta d_1^2} \right) Y_2 - \left( \frac{g_3 - g_2}{\sigma_A^2 d_1^2} - \frac{2a\sqrt{\pi}}{\sigma_A^2 \theta d_1} \right) Y_3 + \\ & \left. + \frac{1}{\sigma_A^2 d_1^2} (Y_1 Y_2 + Y_2 Y_3) - \frac{1}{2\sigma_A^2} \left( \frac{g_1}{d_1} - \frac{6a\sqrt{\pi}}{\theta} \right)^2 - \frac{1}{2\sigma_A^2} \left( \frac{g_2 - g_1}{d_1} - \frac{4a\sqrt{\pi}}{\theta} \right)^2 - \frac{1}{2\sigma_A^2} \left( \frac{g_3 - g_2}{d_1^2} - \frac{2a\sqrt{\pi}}{\theta} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (80)$$

$$d_1 = \frac{A\sqrt{\pi}}{4}, \quad (81)$$

$$g_1 = \frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}, \quad (82)$$

$$g_2 = \frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}(C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22}), \quad (83)$$

$$g_3 = \frac{\sqrt{\pi}(A^2 + \sigma_a^2)}{8\sqrt{2}}(C_{11} - C_{12} + C_{21} - C_{22} + C_{31} - C_{32}). \quad (84)$$

У результаті отримані співвідношення, що дозволяють розрахувати важливий для практики показник - імовірність помилки ідентифікації контрольованих об'єктів.

**У п'ятому розділі** розглядається методологія застосування автоматизованих пристроїв інформаційного забезпечення перевізного процесу для окремих регіонів і напрямів дороги, технологічних моделей комплексної переробки вагонів на сортувальних станціях, приміського сполучення і систем управління електропоїздами метрополітенів.

В роботі ставиться завдання структурної інтеграції пристроїв ідентифікації в діючі підсистеми АСУЗТ. Передбачається локальні пристрої автоматичного запису і зчитування інформації, розташовані у вузлі або регіоні дороги, поетапно об'єднати в мережеву систему автоматичного контролю наявності, роботи і використання рухомого складу, а на її базі реалізувати логістичні ланцюги "постачальник - перевізник - одержувач вантажів", "пасажир - перевізник", "сервісне обслуговування рухомого складу - перевезення", в яких є відповідні набори технологічних завдань і методів їх рішення. При цьому за кожною одиницею рухомого складу ідентифікується умовний номер, який в комп'ютерній мережі пов'язаний з інвентарним номером згідно з "Єдиною системою нумерації рухомого складу мережі залізниць"; кодом держави - власника, об'єктом виконання ідентифікації. Одночасно з реєстрацією об'єкта ідентифікації автоматично враховуються технологічні операції типу: прийом з іншої держави на пункті міждержавного переходу; здача іншій державі; прийом з іншої залізниці та ін. Кодова ідентифікація рухомого складу і обладнання записуючих і зчитуючих позицій здійснюється поетапно на окремих регіонах мережі з подальшим об'єднанням регіональних автоматизованих систем зчитування інформації (АСЗІ) в загальну систему держави і співдружності держав. Доцільність установки записуючих і зчитуючих позицій визначається технологічними чинниками на стикових і передавальних станціях, на сортувальних, дільничних, вантажних, пасажирських станціях і депо, замість постів списування вагонів на дільницях наближення станції, на горбу сортувальних гірок, на сортувальних коліях, на

виставляльних коліях об'єктів вантажної роботи, технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, на дільницях видалення станцій по кожній колії відправлення, на пасажирських станціях - при прийомі і відправленні поїздів, виставлянні пасажирських складів на пасажирську технічну станцію, на ремонтних заводах і депо - на приймально-відправних (виставляльних коліях) відповідно до моменту прийому і здачі рухомого складу. АСЗІ забезпечує автоматизоване ведіння бази даних поїздів, локомотивів, відправок, спеціального рухомого складу і машинне формування відповідних технологічних документів в електронному виконанні. Автоматична реєстрація рухомого складу на записуючих і зчитуючих позиціях станцій повинна бути пов'язана з роботою АРМ персоналу. За допомогою серверів вузла і станцій здійснюється інформаційно-технологічна взаємодія АРМ персоналу з центрами управління і транспортними компаніями. Інформаційна взаємодія реалізується за схемою логістичного процесу. Вибір схеми руху електропоїздів і дизель-поїздів, побудова графіка і його коректування може здійснюватися за даними інформації, що поступає від АСЗІ. У системі АСЗІ засобами запису наносяться на рухомий склад відповідні умовні номери рухомих одиниць. Засоби запису встановлені в моторвагонному депо, а засоби обліку - на зонних станціях обороту і головній станції дільниці. Досвід роботи метрополітенів показує, що забезпечення високих експлуатаційних показників метрополітену неможливо без використання АСУ як його окремими технологічними процесами, так і метрополітенем загалом. Це передбачає для кожного складу технічний огляд і профілактичний ремонт при відстої на лінії, періодичний ремонт в депо, середній і капітальний заводські ремонти, а також поточні - миття вагонів і їх очищення від пилу в продувній камері. Всі перераховані види технічного обслуговування виконуються через певні проміжки часу, величини яких встановлюються директивно, однак на основі висновків і рекомендацій теорії обслуговування складних систем. Як правило, ці проміжки часу безпосередньо визначаються пробігом рухомого складу, тому в процесі експлуатації необхідно контролювати величину пробігу кожного вагона. Для забезпечення такого контролю при виході кожного состава з електродепо на лінію за ним закріплюють певні вагони, що ідентифікуються їх номерами.

Таким чином, використання отриманих наукових результатів в поєднанні зі структурною перебудовою управління перевезеннями дозволить автоматизувати роботу диспетчерських центрів, скоротити персонал по обліку і управлінню перевізним процесом, підвищити рівень функціонування логістичного ланцюга "відправник - залізниця - одержувач вантажів", "пасажир - залізниця", створити систему обліку сервісного обслуговування рухомого складу.

Техніко-економічна оцінка ефективності проведених досліджень здійснювалася на основі методики, викладеної в заключній частині п'ятого розділу

дисертації. Основні наукові результати роботи використані при впровадженні системи ідентифікації вагонів Салтівської лінії Харківського метрополітену.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі зроблено теоретичне узагальнення і вирішена наукова проблема комплексного вдосконалення методів і заходів отримання даних про рухомі одиниці, що забезпечує додатковою і достовірною інформацією залізничні перевезення. На базі методів розпізнавання, які не потребують використання спеціальних датчиків на рухомому складі, а використовують методи магнітного маркування об'єктів контролю, розроблені теоретичні і методологічні основи побудови пристроїв розпізнавання образів об'єктів, що дає можливість підвищити ефективність експлуатації залізничного транспорту.

При цьому отримані наступні результати.

1. Аналіз існуючих пристроїв ідентифікації залізничних транспортних засобів показав, що для магістрального транспорту України найбільш прийнятними є методи розпізнавання, реалізовані на технічних рішеннях, які не вимагають переобладнання об'єктів, що контролюються. Це дає змогу розв'язати проблему автоматизації процесів інформаційного забезпечення вантажних і пасажирських перевезень на магістральному транспорті України на основі інтеграції в існуючі структури управління експлуатаційною роботою розроблених в дисертації методів розпізнавання транспортних засобів. Методологія побудови автоматизованих систем розпізнавання рухомих об'єктів, що розроблена, не вимагає зміни існуючої системи управління перевезеннями, що дозволяє організувати локальні підсистеми контролю з можливістю їх подальшого об'єднання в єдину інформаційну мережу.

2. Розроблені теоретичні основи магнітного маркування залізничних вагонів з метою формування інформації про образи об'єктів, яка необхідна для систем керування процесом перевезень. Новою особливістю даної методики є те, що на колеса рухомого складу не ставляться магнітні мітки, а здійснюється їх повне перемагнічення. Це дозволяє створювати прості по конструкції і надійні намагнічувачі, а також істотно спрощує процес зчитування сигналів, оскільки інформаційні повідомлення несе колісна пара, візок або вагон в залежності від прийнятої системи кодування. При цьому ідентифікація транспортного засобу здійснюється не тільки за кількістю осей у вагонних візках, але і за рівнем їх залишкових магнітних полів. Проведені експериментальні дослідження і фізичне моделювання рівнів залишкових магнітних полів колісних пар вагонів. Отримані результати використані при розробці активних елементів функціональних намагнічувачів і як вихідні дані (рівні зовнішніх магнітних полів) для синтезу адаптивних колійних перетворювачів.

3. З метою підвищення ефективності експлуатації залізничного транспорту розроблені алгоритми роботи і синтезовані адаптивні колійні перетворювачі для зчитування інформаційних сигналів, які необхідні для забезпечення функціонування динамічних моделей управління перевезеннями. Відмітною особливістю цих пристроїв є їх орієнтація на роботу в складних умовах, а саме:

- початковим робочим станом зчитуючих пристроїв є відробляння електромагнітних і атмосферних перешкод і облік їх в результатах вимірювань;
- вимірювання здійснюється тільки під час знаходження об'єкта в зоні контролю, при цьому нульовим рівнем відліку є рівень сигналу, що створюється сумарною перешкодою;
- чутливість датчиків дозволяє встановлювати їх в місцях, не доступних для механічних пошкоджень (розміщувати під землею, рознести від головки рейки на відстань 0,25 - 1 м в залежності від регулювання приймачів);
- можливість реакції на масу вагона.

Це дозволяє створювати пристрої розпізнавання довгобазних вагонів, контролю заповнення колій підгіркових парків сортувальних гірок без застосування рейкових ланцюгів, виявлення «вікон» в системах контролю заповнення колій і ін. Випробування колійних перетворювачів при зчитуванні інформаційних сигналів з колісних пар електропоїздів на Харківському метрополітені показали принципову можливість застосування їх для діагностики надійності функціонування тягових двигунів по розподілу рівнів зовнішніх магнітних полів.

4. Вирішена задача одержання достовірних даних про рухомий склад без порушень технологічного процесу перевезень за рахунок підвищення надійності розпізнавання шляхом визначення спільної щільності імовірності вихідних сигналів багатомірної системи для випадку ідентифікації вагонних візків. Можливість рішення поставленої задачі зумовлено введенням допущення, що будь-яка кількість колісних пар у візку (від 0 до 3) апіорі рівноймовірна, тобто  $P_i = 0,25$ . На основі такого підходу отримані аналітичні вирази для розрахунку помилки визначення кількості колісних пар і проведено порівняння характеристик якості функціонування синтезованих пристроїв.

5. Розроблені математичні моделі процесу розпізнавання, імовірнісні моделі ідентифікації вагонних візків та методика розрахунку імовірності помилки виявлення об'єкта. Якщо вважати значення відмінності величин імовірностей перевищуючими  $10^{-3}$ , то при  $q_{12}^2 < 320$  характеристики виявлення значною мірою залежать від апіорних імовірностей наявності і відсутності об'єкта. Зростання



параметра групування  $A$  веде до підвищення якості виявлення. Із зростанням величини  $q_{12}^2$  вплив апіорної інформації (величин  $A$ ,  $P(\lambda_0)$  і  $P(\lambda_1)$ ) на характеристики виявлення стає все менш істотним. При великій величині  $P(\lambda_1)$  велике значення імовірності вірного виявлення досяжно навіть при малих значеннях  $q_{12}^2$  і  $A$ , однак при цьому величина  $P_{n\text{cep}}$  може бути неприпустимо великою для ряду практичних додатків.

Якщо інтерпретувати об'єкт, що виявляється як одиничний імпульс, що належить деякому двійковому коду кінцевої довжини, нанесеному на деякий неідеальний, з точки зору перешкод, носій, то на основі приведених результатів, можна укласти наступне: якщо задані допустиме мінімальне значення  $P_{n\text{min}}$  і максимальне значення  $P_{n\text{max}}$ , то варіюючи вигляд і довжину коду (тобто величини  $P(\lambda_0)$  і  $P(\lambda_1)$ ) і вигляд носія (тобто величину  $A$  і досягне значення  $q_{12}$ ), можна оптимізувати як вимоги до коду, так і вимоги до характеристик носія коду, що забезпечує автоматизацію визначення дислокації поїздів у процесі перевезень на полігонах залізниць.

6. Розроблені теоретичні основи побудови інформаційних систем на основі багатоканальних пристроїв ідентифікації рухомих складів. Синтезовано субоптимальний алгоритм роботи багатоканального пристрою розпізнавання транспортних засобів, який має, як показала порівняльна характеристика, найкраще значення імовірності якості функціонування.

7. Розроблена методологія побудови інформаційного забезпечення перевізного процесу в системах управління перевезеннями для регіонів і напрямів залізниці, сортувальних станцій, метрополітенів, заснована на структурній інтеграції пристроїв ідентифікації в діючі підсистеми управління залізничного транспорту. При цьому виконаний аналіз оптимальних місць розміщення прочитуючих пристроїв в різних підрозділах дороги з метою досягнення максимальної ефективності використання системи розпізнавання транспортних засобів. Впровадження методології, що пропонується, дозволить автоматизувати роботу центрів управління перевізним процесом і створити систему обліку сервісного обслуговування рухомого складу, що удосконалює експлуатацію залізничного складу.

8. Виконане техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження пристроїв розпізнавання транспортних засобів. Для Харківського метрополітену розрахунковий економічний ефект від впровадження системи ідентифікації (1430 тис. грн.) отриманий за рахунок скорочення витрат на технічне обслуговування і ремонт рухомого складу завдяки обліку реального пробігу вагона. Результати наукових досліджень, отримані в дисертаційній роботі,

використані при впровадженні системи ідентифікації вагонів Салтівської лінії Харківського метрополітену.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Соколов В.М., Бабаев М.М., Золочевский Л.Н., Пилипенко В.В. Исследование магнитных характеристик колесной стали для хранения информации в системе записи инвентарных номеров вагонов // Межвуз. сб. науч. тр./ ХарГАЖТ, 1986. – Вып.1. – С. 91-93.
2. Бабаев М.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Система распознавания подвижных составов метрополитена // Межвуз. сб. науч. тр./ ХарГАЖТ, 1994. – Вып.25. – С. 45-52.
3. Бабаев М.М. Субоптимальная процедура распознавания образов в системах управления подвижным составом метрополитена // Межвуз. сб. науч. тр./ ХарГАЖТ, 1995. – Вып. 27. – С. 68-70.
4. Бабаев М.М. Синтез двухдатчикового устройства контроля зоны // Межвуз. сб. науч. тр./ ХарГАЖТ, 1997. – Вып. 28. – С. 85-88.
5. Бабаев М.М. Вероятностные характеристики процесса распознавания колесных пар подвижных объектов железнодорожного транспорта // Міжвуз. зб. наук. пр./ ХарДАЗТ, 1998. – Вип. 34. – С. 93-95.
6. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Кошевой С.В. Моделирование поездного положения в электродепо метрополитена // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №3,4. - С. 37-40.
7. Бабаев М.М. Оптимизация преобразователей сигналов от магнитомодуляционных чувствительных элементов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №6. – С. 54-56.
8. Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Придубков П.Я. Концепция новой технологии передачи данных подвижными составами железных дорог // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1997. - №1. – С.74-78.
9. Бабаев М.М., Давиденко М.Г., Соболев Ю.В. Эффективность контроля зоны двухдатчиковым устройством // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1997. - №2. – С.12-14.
10. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. Идентификация подвижного состава на основе использования время-импульсного кодирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1997. - №3. – С.49-53.
11. Бабаев М.М. Синтез помехоустойчивых приемников сигналов от точечных датчиков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1997. - №4. – С.62-64.

12. Бабаев М.М., Соболев Ю.В., Придубков П.Я. Концепция новой технологии передачи данных подвижными составами железных дорог. Часть 3. Кодирование магнитных состояний колесных пар // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. - №5. – С.83-85.

13. Бабаев М.М., Придубков П.Я., Соболев Ю.В. Концепция новой технологии передачи данных подвижными составами железных дорог. Проблемы распознавания железнодорожных вагонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. - №6. – С.64-67.

14. Бабаев М.М. Методология построения устройств распознавания образов подвижных объектов железнодорожного транспорта. Часть 1. Алгоритм обнаружения наличия колесных пар в зоне контроля // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. - №1. – С.93-97.

15. Бабаев М.М. Оцінка достовірності прийняття рішень пристроями розпізнавання транспортних засобів // Міжвуз. зб. наук. пр. / ХарДАЗТ, 1999. – Вип.35. – С.126-131.

16. Соболев Ю.В., Бабаев М.М. Уравнения состояния электромагнитного поля первичных путей элементов системы идентификации подвижного состава // Вісник Східноукраїнського державного університету. – 1999. - №2. – С.68-75.

17. Бабаев М.М. Методология построения устройств распознавания образов подвижных объектов железнодорожного транспорта. Часть 2. Структурные схемы помехоустойчивых приемников информационных сигналов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. - №4. – С.65-68.

18. А.с. 1671507 СССР, МКИ В 61 L 25/02. Устройство для передачи информации на подвижной состав/ М.М. Бабаев, О.Ф. Демченко, С.В. Кошевой, П.Я. Придубков, Ю.В. Соболев (СССР). - № 1310274; Заявлено 19.07.89; Опубл. 23.08.91, Бюл. №31. - 4с.: 1 ил.

19. Пат. 13411 Україна, МКІ<sup>6</sup> В 61 L 1/16. Пристрій для знаходження об'єкта, який рухається по рейках / М.М. Бабаєв, О.Ф. Демченко, Л.О. Ісаєв, С.В. Кошовий, А.А. Прилипко, Ю.В. Соболев (Україна). - № 95010319; Заявл. 23.01.95; Опубл. 31.08.98. Бюл. № 4. - 3с.: іл. 2.

20. Пат. 21240 А Україна, МКІ<sup>6</sup> G 06 K 7/08, G 06 C 7/09. Пристрій безконтактного зчитування інформації з рухомих магнітних носіїв / М.М. Бабаєв, О.Ф. Демченко, Л.О. Ісаєв, С.В. Кошовий, Ю.В. Соболев (Україна). - № 94086586; Заявл. 08.08.94; Опубл. 27.02.98. Бюл. № 1. - 9с.: іл. 6.

## АНОТАЦІЯ

Бабаєв М.М. Методологія інформаційного забезпечення вантажних і пасажирських перевезень на основі автоматизації процесів розпізнавання рухомих об'єктів залізничного транспорту. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.22.08 - експлуатація залізничного транспорту. - Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 1999.

Дисертація присвячена питанням удосконалення методів управління перевізним процесом на базі створення автоматизованих систем розпізнавання транспортних засобів. У роботі розвивається новий напрям в побудові подібних систем, заснований на впровадженні інформаційних технологій, орієнтованих на незамкнені транспортні потоки. Запропоновані алгоритми роботи і синтезовані пристрої, що формують образ рухомого складу, що контролюється. Синтезовано оптимальний по критерію максимуму апостеріорної імовірності пристрій визначення кількості колісних пар вагонів. Розглянута методологія застосування пристроїв інформаційного забезпечення перевізного процесу в системах управління перевезеннями для регіонів, напрямів дороги, сортувальних станцій і метрополітенів. Основні наукові результати роботи знайшли практичне застосування при впровадженні автоматизованої системи ідентифікації вагонів на Салтівській лінії Харківського метрополітену.

Ключові слова: рухомий склад, перевізний процес, повагонна модель, синтез, ідентифікація, образ.

## THE SUMMARY

Бабаєв М.М. A methodology of a supply with information cargo and passenger traffic on the basis of automation of processes of recognition(identification) of mobile objects of a railway transportation. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the doctor of engineering science on a speciality 05.22.08. - exploitation of a railway transportation, - Kharkov state academy of a railway transportation, Kharkov, 1999.

The thesis is dedicated to problems of perfecting of methods of supervision by transportation process on the basis of creation of the automated systems of identification of transportation facilities. In activity the recent trend in construction of similar systems grounded on an intrusion of information know-hows oriented on open-ended transport flows develops. The algorithms of activity are offered and the devices reshaping an image of a monitored carriage rolling stock are synthesized.

The jamproof processing logics of output signals of dot travelling sensors are designed and the device of quantifying of wheel pairs of coaches is synthesized optimal by yardstick of a maximum of a posterior probability. The methodology of applying of devices of a supply with information of transportation process in management systems of transportations for locales, directions of a road, marshalling yards and undergrounds is reviewed. The main scientific outcomes of activity have found operational use at an intrusion of the automated system of identification of coaches on Салтовской of a line of the Kharkov underground.

Key words: rolling stock, transportation process, carload model, synthesis, identification, image.

## АННОТАЦИЯ

Бабаев М.М. Методология информационного обеспечения грузовых и пассажирских перевозок на базе автоматизации процессов распознавания подвижных объектов железнодорожного транспорта. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.08. – эксплуатация железнодорожного транспорта. - Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования методов диспетчерского управления перевозочным процессом на базе создания автоматизированных систем распознавания транспортных средств. В работе развивается новое направление в построении подобных систем, основанное на внедрении информационных технологий, ориентированных на незамкнутые транспортные потоки. Проведено теоретическое обобщение и решена научная проблема комплексного усовершенствования методов и средств получения данных о подвижных объектах, что обеспечивает дополнительной и достоверной информацией железнодорожные перевозки. Решена важная народнохозяйственная задача, направленная на дальнейшее повышение эффективности процессов информационного обеспечения грузовых и пассажирских перевозок на магистральном транспорте Украины. Разработана методология построения автоматизированных систем распознавания подвижных объектов, не требующая изменения существующей системы управления перевозками.

Разработаны теоретические основы процессов магнитной маркировки железнодорожных вагонов с целью формирования образа контролируемого объекта. Разработаны математические модели процесса обнаружения контролируемого объекта. Особенностью предлагаемой методики является то, что на колеса подвижного состава не наносятся магнитные метки, а осуществляется

их полное перемагничивание. Это позволяет создавать простые по конструкции намагничиватели и существенно упрощает процесс считывания сигналов, поскольку информационные сообщения несет колесная пара, тележка или даже вагон в зависимости от принятой системы кодирования. Разработаны вероятностные математические модели идентификации вагонных тележек. Предложены алгоритмы работы и синтезированы устройства, формирующие образ идентифицируемого подвижного состава. Синтезирован субоптимальный алгоритм работы многоканального устройства распознавания транспортных средств. Разработаны теоретические основы построения одноканальных распознающих систем для идентификации подвижных составов. Разработаны алгоритмы работы и синтезированы адаптивные путевые преобразователи для считывания информационных сигналов с контролируемых объектов.

Отличительной особенностью предлагаемых устройств является их ориентация на работу в напольных условиях, а именно: исходное рабочее состояние считывающих устройств – отработка электромагнитных и атмосферных помех и учет их в результатах измерений; измерение осуществляется только во время нахождения объекта в зоне контроля, при этом нулевым уровнем отсчета является уровень сигнала, создаваемый суммарной помехой; чувствительность датчиков позволяет устанавливать их в местах, не доступных для механических повреждений (размещать под землей, разносить от головки рельса на расстояние  $0,25 \div 1$  м в зависимости от регулировки приемников); возможность реакции считывающих устройств на массу вагона. Это позволяет создавать устройства распознавания длиннобазных вагонов, контроля заполнения путей подгорочных парков сортировочных горок без использования рельсовых цепей, определения «окон» в системах контроля заполнения путей и др.

Разработаны помехозащищенные алгоритмы обработки выходных сигналов точечных путевых датчиков и синтезировано оптимальное по критерию максимума апостериорной вероятности устройство определения количества колесных пар вагонов. Синтезированы алгоритмы распознавания контролируемых объектов, реализованы адаптивные путевые устройства считывания информационных сигналов, а также субоптимальные обнаружители, осуществляющие комплексирование принимаемых сигналов как по входам так и по выходам. Разработана методика расчета вероятности ошибки обнаружения контролируемого объекта. Произведена оценка эффективности работы помехозащищенных приемников информационных сигналов и получены математические выражения, определяющие показатели качества обнаружения. Выполнена сравнительная характеристика качества функционирования разработанных устройств распознавания.

Рассмотрена методология применения устройств информационного обеспечения перевозочного процесса в системах управления перевозками для регионов, направлений дороги, сортировочных станций и метрополитенов. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности внедрения устройств распознавания транспортных средств. Основные научные результаты работы нашли практическое применение при внедрении автоматизированной системы идентификации вагонов на Салтовской линии Харьковского метрополитена.

Ключевые слова: подвижной состав, перевозочный процесс, повагонная модель, синтез, идентификация, образ.

БАБАЄВ Михайло Михайлович

МЕТОДОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВАНТАЖНИХ ТА  
ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ  
РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

05.22.08 - Експлуатація залізничного транспорту

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Відповідальний за випуск Харченко Л.Ф.

---

Підписано до друку 14.10.99 р.  
Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Умовн.-друк.арк. 2,0. Обл.-вид.арк. 2,25.  
Замовлення № 270 . Тираж 100.

---

Видавничий комплекс ХарДАЗТу,  
310050, Харків-50, пл. Фейєрбаха, 7.