

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Рибалка Роман Володимирович

УДК 656.212.5:658.011.56

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ЗАПОВНЕННЯ КОЛІЙ
СОРТУВАЛЬНОГО ПАРКУ ШЛЯХОМ КОРЕКЦІЇ СПЕКТРІВ
ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ В РЕЙКОВИХ ЛІНІЯХ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук, професор Гаврилюк Володимир Ілліч, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри автоматики, телемеханіки та зв'язку.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент Чепцов Михайло Миколайович, Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, проректор з наукової роботи.

кандидат технічних наук, доцент Козаченко Дмитро Миколайович, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, начальник науково-дослідної частини.

Захист відбудеться “___” _____ 2011 р. о __:__ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. академіка Лазаряна, 2.

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

Автореферат розісланий “___” _____ 2011 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

доктор технічних наук, професор _____

Жуковицький І. В.

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Залізничний транспорт займає провідне місце у задоволенні потреб економіки та населення України в перевезеннях, є важливим фактором забезпечення соціально-економічного зростання держави, розвитку її зовнішньоекономічних зв'язків. В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з вагомих факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниці є економічно ефективне рішення проблеми скорочення часу виконання операцій на технічних станціях за рахунок автоматизації перевізного процесу, однією з підсистем якого є система комплексної автоматизації сортувальних гірок, яка, серед іншого, охоплює контроль переміщення відцепів на коліях сортувального парку.

Сортувальні гірки являються найбільш завантаженою ланкою сортувальних станцій та одним з основних споживачів енергії на станціях. Серед напрямків підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок в сучасних умовах можна виділити скорочення затрат енергоресурсів на розформування составів.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю покращення експлуатаційних показників роботи сортувальних гірок за рахунок розробки нової системи контролю заповнення колій (КЗК) сортувального парку.

У зв'язку з цим, тема дисертації, спрямована на підвищення ефективності контролю заповнення колій є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетним напрямком розвитку залізничної галузі, який визначений у стратегії розвитку залізничного транспорту України до 2020 року, а також пов'язана з НДР "Розробка та наукове обґрунтування технічних рішень по підвищенню безпеки руху поїздів на швидкісних магістралях шляхом автоматизації контролю та діагностування рейкових кіл" (номер державної реєстрації 0108U003066) в якій дисертант є співавтором звіту з НДР.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності контролю заповнення колій сортувального парку шляхом розробки та застосування методу корекції спектрів (МКС) тестових (ТС) та вихідних сигналів (ТВС) в рейкових лініях (РЛ).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проведення аналізу існуючих методів та засобів контролю заповнення колій сортувального парку, існуючих методів ідентифікації для розробки та наукового обґрунтування нового методу контролю заповнення колій сортувального парку;
- наукове обґрунтування методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів для розширення області застосування ідентифікації за спеціальними тестовими сигналами (СТС), оцінка ефективності його-

го застосування до методу ідентифікації за спеціальними тестовими сигналами відносно тестової математичної моделі;

- розробка математичної моделі електричних процесів в системі “рейкова лінія – відчепи” (РЛ-В) для отримання та дослідження характеристик рейкової лінії в залежності від кількості та розташування відчепів на колії сортувального парку, наукове обґрунтування її адекватності;
- розробка та наукове обґрунтування методу контролю заповнення колій сортувального парку за рахунок застосування методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів із застосуванням класифікатору виду “штучна нейронна мережа” (ШНМ);
- розробка математичної моделі “рейкова лінія колії сортувального парку – класифікатор” (РЛКСП-К), для наукового обґрунтування методу контролю заповнення колій сортувального парку із застосуванням методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів;
- наукове обґрунтування можливості чіткої класифікації даних, отриманих за допомогою математичної моделі РЛКСП-К для доведення можливості вирішення задачі контролю заповнення колій сортувального парку за рахунок застосування методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів;
- визначення структури класифікатору на основі ШНМ, який виноситиме рішення про ступінь заповнення колії сортувального парку для розробленої моделі РЛКСП-К;
- статистичне обґрунтування вирішення задачі КЗК сортувального парку на основі результатів математичного моделювання системи РЛКСП-К для винесення імовірнісної оцінки ефективності вирішення задачі контролю заповнення колій сортувального парку, отримання рекомендацій щодо налаштування класифікатору виду ШНМ, визначення допустимих границь помилок при вирішенні задачі КЗК сортувального парку;
- розробка дослідного зразку автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю заповнення колій сортувального парку для подальшого використання на виробництві та в учбовому процесі кафедри.

Об’єкт дослідження – процес заповнення сортувальної колії вагонами.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматичного контролю заповнення колії сортувального парку.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених у дисертації задач застосовано: з метою наукового обґрунтування МКС, оцінки ефективності його застосування до методу ідентифікації за СТС відносно тестової математичної моделі застосовувались теорія електричних кіл, методи цифрової обробки сигналів, математичного моделювання, ідентифікації систем, перетворення Фур’є (ПФ), вейвлет-перетворення; для розробки математичної моделі електричних

процесів в системі РЛ-В для отримання та дослідження характеристик РЛ в залежності від кількості та розташування відчепів на колії сортувального парку, та наукового обґрунтування її адекватності застосовувалася теорія електричних кіл, методи цифрової обробки сигналів, статистичної перевірки статистичних гіпотез; для розробки та наукового обґрунтування методу КЗК сортувального парку за рахунок застосування МКС ТВС із застосуванням класифікатору виду ШНМ застосовувалися теорія електричних кіл, теоретичні основи електротехніки, методи ШНМ; для розробки математичної моделі РЛКСП-К, яка включає запропоновані в роботі процедури перетворення ТВС РЛ, застосовувалися теорія електричних кіл, методи цифрової обробки сигналів, математичного моделювання; для наукового обґрунтування можливості чіткої класифікації даних, отриманих за допомогою математичної моделі РЛКСП-К застосовувалися методи багатовимірного статистичного аналізу; для визначення структури класифікатору, який виноситиме рішення про ступінь заповнення колії сортувального парку, застосовувались методи багатовимірного статистичного аналізу, ШНМ; для статистичного обґрунтування вирішення задачі КЗК сортувального парку застосовувалися методи математичного моделювання, статистичної перевірки статистичних гіпотез, Монте-Карло; для розробки дослідного зразку автоматизованого апаратно-програмного комплексу для КЗК сортувального парку застосовувалися теоретичні основи електротехніки, методи програмування систем реального часу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у подальшому розвитку існуючих методів та розробці нових науково обґрунтованих підходів до підвищення ефективності контролю заповнення колій сортувального парку, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на розформування составів та підвищити безпеку технологічних процесів на сортувальній гірці.

Вперше:

- розроблено математичну модель електричних процесів в системі “рейкова лінія – відчепи”, що дозволило отримати та дослідити характеристики рейкової лінії в залежності від кількості та розташування відчепів на колії сортувального парку;
- розроблено математичну процедуру перетворення тестових та вихідних сигналів при ідентифікації лінійної системи за спеціальними тестовими сигналами, що дозволило зменшити похибку ідентифікації в разі, якщо тестовий сигнал недостатньо точно апроксимує необхідну тестову дію та/або в разі впливу завади на вході системи, яка ідентифікується;
- розроблено математичну модель системи “рейкова лінія колії сортувального парку – класифікатор”, яка включає запропоновані в роботі процедури перетворення тестових та вихідних сигналів рейкової лінії, що дозволило науково обґрунтувати метод контролю заповнення колій сортувального парку із застосуванням методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів.

Удосконалено:

- метод контролю заповнення колій сортувального парку, який відрізняється від існуючих використанням корекції спектрів тестових та вихідних сигналів та застосуванням класифікатору виду “штучна нейронна мережа”;
- метод адаптивної інверсної фільтрації, який відрізняється від існуючих використанням розробленого методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів, що дозволило зменшити ймовірність появи в інверсному фільтрі нескінченно великого підсилення на частотах, які містять нульові компоненти, і запобігти, відповідно, зменшенню відношення “сигнал-завада”.

Практичне значення одержаних результатів визначається наступним:

- розроблені алгоритми та програмна реалізація методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів використані в навчальному процесі кафедри автоматики, телемеханіки та зв’язку Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при викладанні дисципліни “Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів”, що підтверджується відповідним актом;
- розроблені методики контролю заповнення колій сортувального парку шляхом застосування методу корекції спектрів тестових та вихідних сигналів в рейкових лініях прийняті для розгляду на предмет впровадження на сортувальній гірці станції Нижньодніпровськ-Вузол, що підтверджується відповідним актом.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведених в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю.

В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належать наступне: створення математичної моделі і отримання її характеристик [1], [2], [3], [19], [9]; реалізація пропонованої методики контролю та діагностування [4], [20]; розвиток методу корекції спектрів [22], [23], [10]; розвиток методу корекції спектрів для застосування в методі ідентифікації за імпульсним ТС [6]; застосування методу корекції спектрів до вирішення задачі КЗК [8], [21].

Роботи [5] та [7] написані без співавторів, самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на: I-й міжнародній науково-практичній конференції “Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті” (2007 р., м. Дніпропетровськ); II, III міжнародних науково-практичних конференціях “Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті” (2009 р., 2010 р., м. Дніпропетровськ); науково-практичній конференції “Транспортні зв’язки. Проблеми та перспективи” (2008 р., м. Дніпропетровськ); 69-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (2009 р., м. Дніпропетровськ).

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр “Автоматика, телемеханіка та зв’язок”, “Автоматизований електропривод”, “Електропостачання залізниць”, “Електронні обчислювальні машини”, “Комп’ютерні інтегровані технології”, “Локомотиви”, “Прикладна математика”, “Станції та вузли”, “Управління експлуатаційною роботою” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 04.11.2010 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 23 наукові праці: 8 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, затверджених ВАК України за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, 5 патентів на винахід, 2 додаткові статті, 8 – у матеріалах і тезах конференцій та симпозіумів.

Структура й обсяг дисертації. Повний обсяг викладено на 189 сторінках і включає 126 сторінок тексту. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (164 найменування) на 17 сторінках, 5 додатків на 36 сторінках, ілюстрована 63 рисунками та 10 таблицями.

Основний зміст роботи

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульована мета, задачі дослідження, викладено методи досліджень, наукову новизну, практичне значення результатів дисертації, відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** проведений аналіз існуючих методів та засобів КЗК сортувального парку, існуючих методів ідентифікації.

Великий внесок у вирішення теоретичних та практичних проблем сортувальної системи зробили такі вчені як В. М. Акулінічев, С. А. Бессоненко, В. І. Бобровський, М. П. Божко, Т. В. Бутко, П. С. Грунтов, М. І. Данько, О. М. Долаберидзе, В. М. Іванченко, І. В. Жуковицький, Д. М. Козаченко, Д. В. Ломотько, М. К. Модін, Ю. О. Муха, Є. В. Нагорний, В. Я. Негрей, Г. І. Нечаєв, В. М. Образцов, В. Є. Павлов, М. В. Правдін, Є. О. Сотніков, Л. Б. Тішков, Б. І. Торопов, М. М. Чепцов, Є. М. Шафіт, В. О. Шиш, В. П. Шейкін, В. І. Шелухін, М. Р. Ющенко, П. О. Яновська та інші.

Основне призначення систем КЗК полягає у визначенні координат відчепів на сортувальній колії, що використовується для корекції режимів гальмування та визначення координати прицілювання відчепів, що гальмуються. Виявлено, що інформація від статичних КЗК не дозволяє ефективно управляти прицільним гальмуванням відчепів, на відміну від динамічних КЗК. В результаті критичного огляду існуючих методів КЗК сортувального парку виявлено, що задача КЗК не знайшла свого повного вирішення в зв’язку з чим вона потребує подальших досліджень. Перші з систем КЗК потребували розбиття РЛ на короткі рейкові кола ізолюючими стиками, які є ненадійними елементами. В подальшому спостерігалася тенденція до відмови від розділення колії сортувального

парку ізолюючими стиками в межах контрольованої ділянки. До недоліків методу КЗК із застосуванням безстикових рейкових кіл відноситься особливість усіх рейкових кіл з сигналами тональної частоти, а саме наявність зон додаткового шунтування. З метою застосування сигналів з додатковими елементами в ознаковому просторі була створена система КЗК методом імпульсного зондування. Її недоліки полягають у невисокій точності визначення відстані до відчепу, великій чутливості методу до відповідності форми сигналу до еталонної вхідної дії, завади на вході. З метою відходу від передачі сигнального струму по РЛ були створені системи КЗК із застосуванням різноманітних датчиків: індуктивних точкових, індуктивно-провідних. В першому випадку необхідний контроль протікання струму, значним є вплив стану баласту і контактного опору рейка-колесо, значна кількість апаратури. В другому – витрати на прокладання шлейфу, межі зон виявлення відчепів визначаються чутливістю датчика, інерційністю, швидкістю руху відчепу, типом вагону. Альтернативою використанню напільних пристроїв є радіолокаційні станції малого радіусу дії. Їх недоліки полягають у значимості геометричних розмірів різних типів вагонів, освітлювальних опор (та відстані між ними), обмеження довжини спускної частини гірки (500 м), довжини (1200 м) та ширини (250 м) сортувального парку.

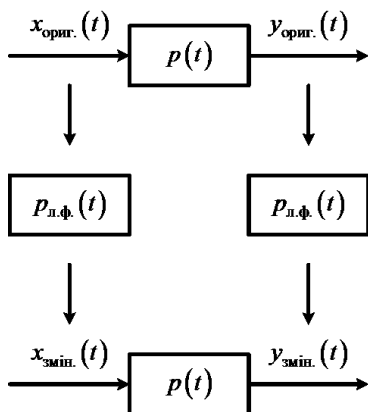


Рис. 1 Співвідношення між входом та виходом лінійної системи при лінійних змінах відповідних сигналів

Проведено аналіз методів вимірювання системних характеристик лінійних об'єктів, з якого випливає, що математичний апарат методів ідентифікації за СТС добре розвинутий, проте, у разі застосування останніх на практиці, виявляються помилки ідентифікації через недостатньо точну апроксимацію реальним вхідним сигналом необхідного тестового.

На підставі виконаного аналітичного огляду літератури сформульована мета та задачі досліджень.

У **другому розділі** розроблений та науково обґрунтований МКС ТВС, винесена оцінка ефективності його застосування до методу ідентифікації за СТС відносно тестової математичної моделі. Виконана розробка математичної моделі електричних процесів в системі РЛ-В для отримання та дослідження характеристик РЛ в залежності від кількості та розташування відчепів на колії сортувального парку, науково обґрунтовано її адекватність.

Проведений аналітичний огляд літератури показав необхідність розширення області застосування методів ідентифікації за СТС на вхідні сигнали, форма яких недостатньо точно апроксимує необхідний ТС, що дозволить спростити застосування ідентифікації за СТС на практиці. МКС заснований на особливості зміни сигналу в лінійній системі (ЛС) (рис. 1): вихідний сигнал змінюється за такою самою лінійною зміною, за якою був змінений вхідний сигнал. МКС полягає у приведенні спектру вхідного сигналу до спектру ТС обраного методу ідентифікації, з відповідною зміною вихідного сигналу, при якій не по-

нуління (відкидання елементів); ЦЗп – циклічний зсув вправо; Зл – зсув вліво; \times – множення; $*$ – згортка в часовому просторі; АЦП – аналого-цифровий перетворювач. З відомими обраним методом ідентифікації за СТС (за імпульсним сигналом), $x_{\text{вх.ет.}} n$, $x_{\text{ориг}} n$, $y_{\text{ориг}} n$, довжиною ядра шуканого КІХ-фільтру, $n=1 \dots N$, де N – кількість вимірних точок, узагальнена процедура МКС (рис. 2) наведена нижче:

1. знайти бажані характеристики шуканого ЛФ $p_{\text{л.ф.б.}} n$, що здійснюється в частотній області з урахуванням обмеження до першого і останнього елементів фазочастотної характеристики (ФЧХ);
2. знайти фактичні характеристики шуканого ЛФ $p_{\text{л.ф.ф.}} n$, який реалізований у вигляді КІХ-фільтру;
3. обчислити $x_{\text{змін}} n$ та $y_{\text{змін}} n$, шляхом згортки в часовому просторі з $p_{\text{л.ф.ф.}} n$ і використати $x_{\text{змін}} n$ та $y_{\text{змін}} n$ для обраного методу ідентифікації.

З метою уникнення ефекту накладання спектрів $p_{\text{л.ф.б.}} n$ додатково корегується для отримання $p_{\text{л.ф.ф.}} n$, застосувавши операції циклічного зсуву вправо на $N_{\text{л.ф.}}/2$, обнуління елементів $p_{\text{л.ф.б.}} n$ при $n = [N_{\text{л.ф.}} + 2, N]$ та віконної функції $wf n$ до $p_{\text{л.ф.б.}} n$ при $n = [1, N_{\text{л.ф.}} + 1]$, а саме $p_{\text{л.ф.ф.}} n = wf n \cdot p_{\text{л.ф.б.}} n$. В якості шуканого $p_{\text{л.ф.}} n$ приймається $p_{\text{л.ф.ф.}} n$. Обчислення $x_{\text{змін}} n$ та $y_{\text{змін}} n$, шляхом згортки в часовому просторі з $p_{\text{л.ф.}} n$, з наступним зсувом отриманого сигналу на $N_{\text{л.ф.}}/2$ вліво та видаленням елементів з індексами, що перевищують N , виконується за виразами: $x_{\text{змін.}} n = x_{\text{ориг.}} n * p_{\text{л.ф.}} n$, $y_{\text{змін.}} n = y_{\text{ориг.}} n * p_{\text{л.ф.}} n$. Застосування наведеної вище процедури перед використанням $x_{\text{змін}} n$ та $y_{\text{змін}} n$ для обраного методу ідентифікації за СТС, дозволить зменшити чутливість останніх до недостатньо точної апроксимації реальним вхідним сигналом необхідного тестового за обраним методом ідентифікації.

В термінах сліпого обернення згортки (СОЗ), яке не має загального рішення, $x_{\text{ориг}} t$ – це $x_{\text{вх.ет.}} t$, з паразитною фільтрацією Γ (рис. 2) і, можливо, $x_{\text{з.вх.}} t$; $x_{\text{змін}} t$ – відновлений на основі $x_{\text{ориг}} t$ сигнал, з дією, яка нівелює дію паразитних впливів і в ідеалі приводить $x_{\text{змін}} t$ до виду початкового сигналу. СОЗ серед іншого застосовується в сліпій еквалізації (адаптивній інверсній фільтрації), причому гарний фіксований інверсний фільтр не може бути створений, на відміну від адаптивного інверсного фільтру. Дві проблеми асоціюються з еквалайзерами: існує можливість неспроможності знайти стійкого інверсного фільтру; у разі наявності нульових компонент у спектрі аналізованого

сигналу в інверсному фільтрі будуть великі підсилення на відповідних частотах, що може спричинити дуже низьке відношення сигнал-завада.

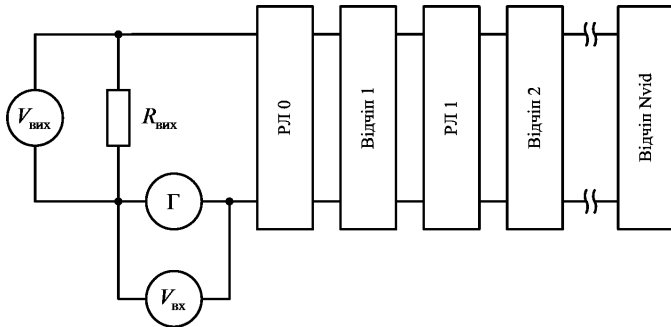


Рис. 3 Схема заміння системи “рейкова лінія – відчепи”

$x_{\text{ориг}} t$ і “надасть матеріал” як для роботи з $p_{\text{л.ф.}} t$. Т.ч. в пропонованому методі знижується чутливість до завад на вході, даний підхід використовує не Гаусівський закон розподілу вхідного сигналу і тому спроможний ідентифікувати немініміально-фазові системи на відміну від традиційних підходів, тобто не накладає жодних обмежень на закон розподілу вхідного процесу.

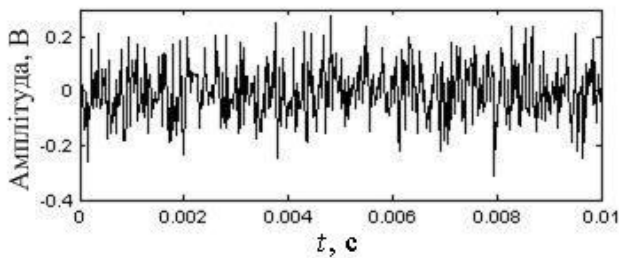


Рис. 4 Фрагмент вхідного (тестового) оригінального сигналу

ланкова схема заміння i -ї РЛ; Відчіп i – схема заміння i -го відчепу; N_{vid} – кількість відчепів. Кількість ланок, якими замінюється ділянка РЛ обчислюється в залежності від її довжини. За схемою заміння, наведеною на рис. 3, створено математичну модель в дискретному вигляді в просторі станів за наведеною нижче послідовністю дій. Обчислюється передатна функція системи РЛ-В $W_{\text{РЛВ}} s$:

$$W_{\text{РЛВ}} s = Z_{\text{вих}} s / Z_{\text{екв}} s + Z_{\text{вих}} s \quad (1)$$

де $Z_{\text{екв}} s$ і $Z_{\text{вих}} s = R_{\text{вих}}$ – еквівалентні операторні опори (ОО) в просторі зображень для схеми заміння РЛ з відчепами і опору з якого знімається вихідна напруга, відповідно. Обчислення $Z_{\text{екв}} s$ виконується “згортанням” частини схеми заміння РЛ з відчепами починаючи з кінця, за допомогою еквівалентного перетворення схем електричних кіл з пасивними елементами, тобто

$$Z_{\text{екв}} s = \bigcup_{i=1}^{N_{\text{ZinEkv}}-1} Z_{\text{екв.ч.}} s i, \text{ де } N_{\text{ZinEkv}}-1 - \text{кількість необхідних елементарних}$$

Перевагою пропонованого в роботі методу над адаптивною інверсною фільтрацією є вирішення проблеми з нульовими компонентами в спектрі аналізованого сигналу. В разі наявності нульових компонентів в спектрі $x_{\text{ориг}} t$ дана реалізація відкидається, а в наступному тесті додається $x_{\text{з.д.}} t$, яка видалить нульові компоненти в спектрі

Розроблено математичну модель електричних процесів в системі РЛ-В, в якій РЛ надається у вигляді лінії з розповсюдженими параметрами у вигляді багатоланкової схеми заміння, а осі вагонів – активними опорами. Схема заміння системи РЛ-В наведена на рис. 3. Введені позначення: РЛ i – багатоланкова

еквівалентних перетворень схем електричних кіл з пасивними елементами; $Z_{\text{екв.ч.}} s i$ – проміжний результат i -го перетворення.

$$Z_{\text{екв.ч.}} s = \begin{cases} Z_1 s \parallel Z_2 s / Z_1 s + Z_2 s, & \text{паралельно} \\ Z_1 s + Z_2 s, & \text{послідовно} \end{cases}$$

де:

$$Z_1 s, Z_2 s \in Z_b s \text{ } vag, v, Z_{i3} s \text{ } RL, RLP, 1,$$

$Z_{i3} s \text{ } RL, RLP, 2, Z_p s \text{ } RL, RLP$. $Z_b s \text{ } vag, v = R_b \text{ } vag, v$ – ОО, який заміщує v -у вісь vag -го вагону. ОО паралельних плечей, які заміщують опір ізоляції між рейковими нитками для RLP -ї ланки RL -ї РЛ:

$$Z_{i3} s \text{ } RL, RLP, 1 = Z_{i3} s \text{ } RL, RLP, 2 = \frac{R_{i3} \text{ } RL, RLP / C_{i3} \text{ } RL, RLP \cdot s}{R_{i3} \text{ } RL, RLP + 1 / C_{i3} \text{ } RL, RLP \cdot s}.$$

$Z_p s \text{ } RL, RLP = R_p \text{ } RL, RLP + L_p \text{ } RL, RLP \cdot s$ – ОО послідовного плеча, яке заміщує опір рейки для RLP -ї ланки RL -ї РЛ. З метою спрощення процесу обчислень, система РЛ-В (1), перетворена в дискретний вид за допомогою білінійної підстановки, а після цього надана у просторі станів. Математична модель, створена за схемою заміщення, наведеною на рис. 3, дозволяє отримати та досліджувати характеристики системи РЛ-В в залежності від кількості та розташування відцепів на колії сортувального парку. З метою підтвердження результатів математичного моделювання, були проведені вимірювання на

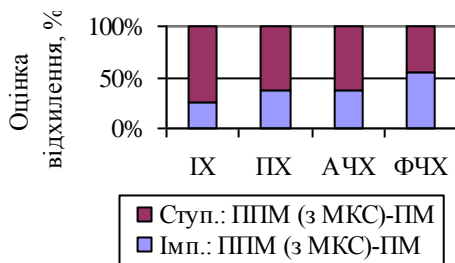


Рис. 5 Нормована гістограма похибки ідентифікації різними СТС у разі застосування корекції

об'єктах: полігон ДПТУ, сортувальна гірка станції Нижньодніпровськ-Вузол. Для опрацювання моделі невисокого порядку була обрана схема заміщення для однієї ланки. Адекватність була підтверджена за допомогою критерію Вілкоксона на рівні значимості 5 %.

В якості оцінки ефективності застосування МКС до методу ідентифікації за СТС відносно тестової математичної моделі, в якості якої обрана коливальна ланка, як проста система з відомими характеристиками, був обраний критерій, що являє собою величину середньоквадратичного відхилення отриманих характери-

стик від еталонних. Серед СТС для дослідження були обрані ступеневий та імпульсний сигнали як одні з найпростіших та широко поширених сигналів. Для оцінки ефективності застосування МКС до ідентифікації за СТС, вхідним оригінальним сигналом являється широкополосний сигнал (рис. 4).

Результати оцінки ефективності застосування МКС як порівняння середньоквадратичного відхилення отриманих характеристик методами ідентифікації за імпульсним та ступеневим сигналами від еталонних приведені на рис. 5 у виді нормованої гістограми. На рис. 5 введені позначення: характеристика

“отримана за псевдопрямим методом (ППМ)” – характеристика, яка обчислена за класичним методом ідентифікації з припущення, що даний вхідний сигнал є необхідним тестовим; характеристика “отримана прямим методом (ПМ)” – характеристика, яка обчислена при вхідному сигналі, що є необхідним ТС за означенням. З-поміж розглянутих СТС обраний імпульсний сигнал, оскільки з рис. 5 видно, що в усіх системних характеристиках, окрім ФЧХ, повернутий результат кращий за моделювання із застосуванням МКС до методу ідентифікації за ступеневим сигналом. У разі застосування ідентифікації за імпульсним сигналом та МКС нормована частина відхилення від еталонної характеристики, порівняно з характеристиками отриманими без корекції, склала для ІХ 0.29 %, ПХ 0.03 %, амплітудочастотна характеристика (АЧХ) 0.23 %, ФЧХ 48.85 %.

В даному розділі була оцінена ефективність застосування МКС до методу ідентифікації за СТС відносно тестової математичної моделі за критерієм, що являє собою величину середньоквадратичного відхилення отриманих характеристик від еталонних. Застосування МКС до методів ідентифікації за СТС дає

кращий результат при недостатньо точній апроксимації вхідним сигналом необхідного тестового, на відміну від класичних методів ідентифікації за СТС, в яких необхідно застосовувати попередню фільтрацію шуму. За результатами досліджень обраний вид СТС.

У **третьому розділі** розроблено та науково обгрунтовано метод КЗК сортувального парку за рахунок застосування МКС ТВС із застосуванням класифікатору виду ШНМ. Розроблено математичну модель РЛКСП-К. Науково обгрунтовано можливість чіткої класифікації даних, отриманих за допомогою математичної моделі РЛКСП-К. Визначено структуру класифікатору на основі ШНМ, який виноситиме рішення про ступінь заповнення колії сортувального парку. Статистично обгрунтовано вирішення задачі КЗК сортувального парку.

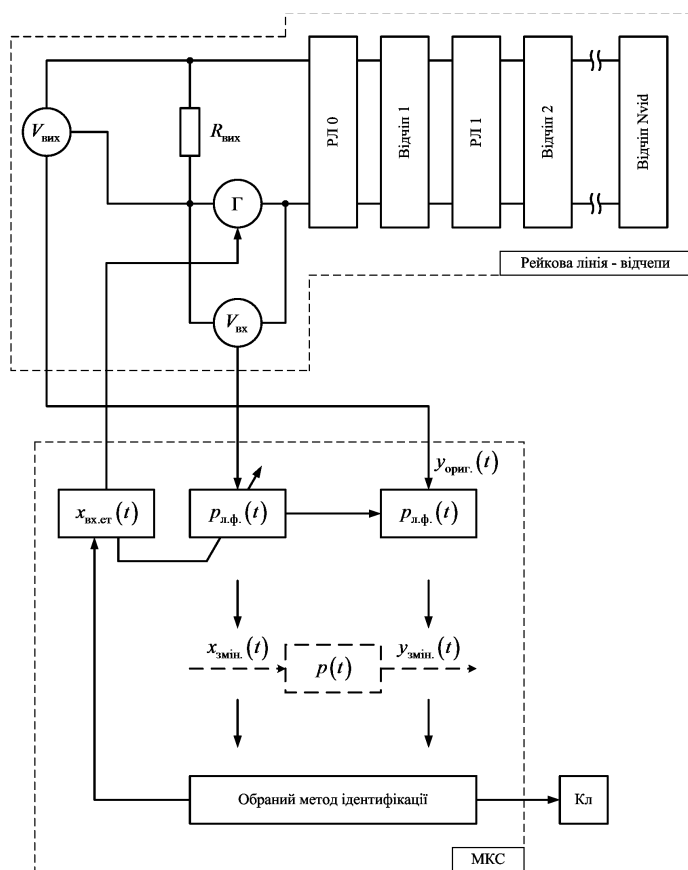


Рис. 6 Схема заміщення системи “рейкова лінія колії сортувального парку – класифікатор”

тувального парку на основі результатів математичного моделювання системи РЛКСП-К. Розроблено дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для КЗК сортувального парку.

Кл – класифікатор (рис. 6), що оцінює відстань до відчепу. Створена математична модель системи РЛКСП-К дозволила науково обґрунтувати метод КЗК сортувального парку із застосуванням МКС ТВС. Вона являє собою комбінування моделі РЛ-В та МКС з додаванням класифікатору виду ШНМ. Обчислення вихідного значення Кл виконується за виразом

$$a^i = f^i \quad LW^{i,i-1} a^{i-1} + b^i \quad (2)$$

де $i = 1, 2, \dots, NL$ – індекс прошарку нейронів ШНМ, причому $i = 1, 2, \dots, NL - 1$ – приховані прошарки, $i = 0$ – вхідний, а $i = NL$ – вихідний прошарок; NL – кількість прошарків без урахування вхідного; R – кількість елементів у вхідному векторі-стовпці; S^i – кількість нейронів у i -му прошарку, причому $S^0 = R$; a^i – $S^i \times 1$ вектор-стовпець виходу i -го прошарку; b^i – $S^i \times 1$ вектор зміщення i -го прошарку; $LW^{i,i-1}$ – $S^i \times S^{i-1}$ вагова матриця, що пов'язує виходи $i - 1$ -го прошарку з i -м, тобто a^{i-1} з a^i ; f^i – функція активації i -го прошарку.

Методом Монте-Карло розраховувалися значення питомих параметрів математичної моделі РЛ-В (рис. 3), за якими розраховувалися значення параметрів ланок РЛ. На вхід математичної моделі з виходу Г надається $x_{\text{ориг}} \quad t$ (рис. 4), $V_{\text{вих}}$ вимірює $y_{\text{ориг}} \quad t$. Для кожного віддалення до місця накладання шунта проводилося 25 вимірів з однаковою реалізацією $x_{\text{ориг}} \quad t$. Характеристикою, яка використовувалась для визначення відстані від вхідного кінця РЛ до місця накладання шунта, є АЧХ системи РЛ-В. Для доведення можливості вирішення задачі КЗК сортувального парку за рахунок застосування МКС ТВС був проведений кластерний аналіз методом k -середніх для еталонних та корегованих характеристик для відстаней до шунта 0.02, 0.04, ..., 0.44 км, який показав зниження точності визначення відстані до відчепу зі зростанням останньої, проблему її імовірнісної оцінки. Проведенням кластерного аналізу було науково обґрунтовано можливість чіткої класифікації даних, отриманих за допомогою математичної моделі РЛКСП-К.

Для визначення структури класифікатору виду ШНМ (рис. 6) критерієм вибору обрано мінімум величини (4).

$$dev \quad i = \max \left[\left| D_{\text{ет.}} \quad i - m_{\text{оц.}} \quad i - 3 \cdot \sigma_{\text{оц.}} \quad i \right|, \left| D_{\text{ет.}} \quad i - m_{\text{оц.}} \quad i + 3 \cdot \sigma_{\text{оц.}} \quad i \right| \right] \quad (3)$$

$$est = \sum_{i=1}^{N_{\text{гр.}}} dev \quad i \quad (4)$$

де \max – функція, що повертає максимальний з двох аргументів; $N_{\text{гр.}}$ – кількість груп відстаней до місця встановлення шунта; $D_{\text{ет.}}$ – еталонна відстань до місця встановлення шунта; $m_{\text{оц.}}$ – оцінка математичного сподівання розпізнаних ШНМ відстаней до місця встановлення шунта; $\sigma_{\text{оц.}}$ – оцінка середньоквадратичного відхилення розпізнаних ШНМ відстаней до місця встановлення шунта.

В результаті пошуку структури ШНМ, була обрана багатошарова ШНМ прямого поширення з 3-ма прихованими прошарками, кількістю нейронів 15 в 1-му прихованому прошарку (функція активації, ФА, “тангенсоїда”), 10 – в 2-му (ФА “логістична”), 5 – в 3-му (ФА “логістична”) і 1 у вихідному (ФА “лінійна”), з навчальним методом Левенберга-Марквардта. Тобто у (2): $NL=4$, $S^1=15$, $S^2=10$, $S^3=5$, $S^4=1$, $f^1 x = e^{\alpha_1 x} - e^{-\alpha_1 x} / e^{\alpha_1 x} + e^{-\alpha_1 x}$, $f^2 x = 1 / (1 + e^{-\alpha_2 x})$, $f^3 x = 1 / (1 + e^{-\alpha_3 x})$, $f^4 x = \alpha_4 x$. З проведеного навчання обраної ШНМ з різними наборами відстаней до шунта обраний набір: 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км, що забезпечував найменший обсяг даних для навчання ШНМ при високій точності розпізнавання. Моделювання ШНМ проводилося на наборі 0.01, 0.02, ..., 0.44 км, переважна більшість з розпізнаних груп відстаней підкоряються нормальному закону розподілу, що було перевірено за допомогою критерію хі-квадрат на 5 %-му рівні значимості. На основі результатів моделювання системи РЛКСП-К було статистично обґрунтовано вирішення задачі КЗК сортувального парку.

Таблиця 1

Оцінка границь розпізнавання

Відстань до ... км	0.14	0.32	0.44
Точність розпізнавання до ... км	0.005	0.01	0.015

Розроблено дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для КЗК сортувального парку (рис. 7): ЦАК – центр автоматизованого керування;

B_i – i -й напільний блок безпосередньо біля i -ї колії сортувального парку КПП i . В режимі налаштування системи оператором ЦАК видається команда на B_i за якою з метою накопичення характеристик для навчання ШНМ з B_i в ЦАК передаються масиви ідентифікованих характеристик КПП i для ряду відстаней до шунта, визначеного раніше. ЦАК проводить навчання ШНМ доки помилка розпізнавання не буде в межах встановлених в табл. 1 і завантажує навчені ШНМ в B_i . В режимі симуляції системи оператором ЦАК видається команда на B_i за якою вони оцінюють відстань до відчепу. В ЦАК, використовуючи інформацію про довжину відчепів, на основі математичної моделі скочування відчепів виноситься оцінка довжини “вікон” та розташування відчепів, що застосовується для вироблення керуючої дії системою автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів, допоміжної інформації регулювальникам швидкості руху відчепів, операторам гальмівних позицій та локомотивній бригаді під час процедури осаджування, створення передумов для відмови від регулювальників швидкості руху відчепів. В цілому це дозволить підвищити ефективність сортувальної системи.

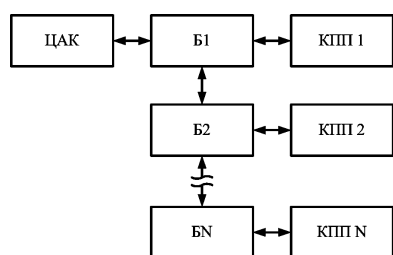


Рис. 7 Узагальнена структурна схема взаємодії блоків апаратури КЗК з ЦАК

Вироблення керуючої дії системою автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів, допоміжної інформації регулювальникам швидкості руху відчепів, операторам гальмівних позицій та локомотивній бригаді під час процедури осаджування, створення передумов для відмови від регулювальників швидкості руху відчепів. В цілому це дозволить підвищити ефективність сортувальної системи.

У четвертому розділі наведено техніко-економічне обґрунтування ефективності системи КЗК сортувального парку.

Найважливішою задачею впровадження засобів автоматики на залізниці являється підвищення рівня безпеки руху потягів, що не піддається в повній мірі економічному розрахунку. Ефективність застосування на залізниці сучасних засобів автоматики розглядається виходячи з таких основних факторів: забезпечення безпеки руху потягів; підвищення пропускної спроможності залізничних ділянок і станцій; підвищення ділянкової швидкості руху потягів; скорочення експлуатаційних витрат і строку окупності капітальних вкладень; зниження собівартості перевезень; зростання продуктивності праці; покращення умов і підвищення культури праці.

Пристрої автоматики і механізації на сортувальних гірках вирішують повністю чи частково наступні основні задачі: замінюють тяжкі й трудомісткі процеси роботою механізмів, які діють автоматично, півавтоматично, або керованих дистанційно, зменшуючи цим експлуатаційний штат; збільшують переробну спроможність сортувальної гірки, сприяючи цим скороченню часу простою вагонів на сортувальних станціях; знижують вартість переробки вагонів, зменшуючи цим експлуатаційні витрати з вантажних перевезень. Обґрунтування впровадження пропонованої системи проводиться для сортувальної гірки станції Нижньодніпровськ-Вузол з розрахунком експлуатаційних витрат за рік, річного економічного ефекту та строку окупності системи. Очікуваний річний економічний ефект складає 179 тис. грн./рік.

Висновки

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу підвищення ефективності контролю заповнення колій сортувального парку. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають в наступному:

- Проведений аналіз існуючих методів та засобів КЗК сортувального парку показав, що задача КЗК не знайшла свого повного вирішення в зв'язку з чим вона потребує подальших досліджень. З аналізу існуючих методів ідентифікації видно, що математичний апарат методів ідентифікації за СТС добре розвинутий, але в разі застосування їх на практиці виявляються помилки ідентифікації через недостатньо точну апроксимацію вхідним сигналом необхідного ТС.
- Науково обґрунтований МКС ТВС, який дозволяє розширити область застосування ідентифікації за СТС на вхідні сигнали, які недостатньо точно апроксимують необхідний ТС. Винесена оцінка ефективності застосування МКС як порівняння середньоквадратичного відхилення отриманих характеристик. З-поміж розглянутих СТС був обраний імпульсний сигнал, оскільки з результатів моделювання видно, що застосування МКС до ідентифікації за імпульсним сигналом в усіх системних характеристиках, окрім ФЧХ, повертає кращий результат аналогічного моделювання із застосуванням МКС до методу ідентифікації за ступеневим сигналом;

- Розроблено математичну модель електричних процесів в системі РЛ-В, що дозволяє отримати та дослідити характеристики РЛ в залежності від кількості та розташування відчепів на колії сортувального парку. Науково обґрунтовано її адекватність за допомогою критерію Вілкоксона на рівні значимості 5 %;
- Розроблено та науково обґрунтовано метод КЗК сортувального парку за рахунок застосування МКС ТВС із застосуванням класифікатору виду ШНМ, що дозволяє використовувати їх для розробки систем КЗК сортувального парку;
- Розроблено математичну модель РЛКСП-К, яка включає запропоновані в роботі процедури перетворення ТВС РЛ, що дозволило науково обґрунтувати метод КЗК сортувального парку із застосуванням МКС ТВС;
- Науково обґрунтовано можливість чіткої класифікації даних, отриманих за допомогою математичної моделі РЛКСП-К, що доводить можливість вирішення задачі КЗК сортувального парку за рахунок застосування МКС ТВС. Виконаний кластерний аналіз методом k -середніх для еталонних та корегованих характеристик для відстаней до шунта 0.02, 0.04, ..., 0.44 км, який показав зниження точності визначення відстані до відчепу з її зростанням;
- Визначено структуру класифікатору на основі ШНМ, який виносить рішення про ступінь заповнення колії сортувального парку що дозволить застосувати його до розробленої моделі РЛКСП-К. Найкраще зарекомендувала себе багатошарова ШНМ прямого поширення з 3-ма прихованими прошарками, кількістю нейронів 15 в 1-му прихованому прошарку (ФА “тангенсоїда”), 10 – в 2-му (ФА “логістична”), 5 – в 3-му (ФА “логістична”) і 1 у вихідному (ФА “лінійна”), з навчальним методом Левенберга-Марквардта;
- Статистично обґрунтовано вирішення задачі КЗК сортувального парку на основі результатів математичного моделювання системи РЛКСП-К завдяки винесенню імовірнісної оцінки ефективності вирішення задачі КЗК сортувального парку. Визначені відстані до відчепу в абсолютній більшості підкоряються нормальному закону розподілу, що було перевірено за допомогою критерію хі-квадрат на рівні значимості 5 %. Отримано рекомендації щодо налаштування класифікатору виду ШНМ, визначено допустимі границі відхилень при визначенні відстані до відчепу: до 0.14 км точність розпізнавання не перевищує 0.005 км, до 0.32 км – 0.01 км, до 0.44 км – 0.015 км;
- Розроблено дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу КЗК сортувального парку, інформація якого може бути використана для вироблення керуючої дії системою автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів, допоміжної інформації регулювальникам швидкості руху відчепів, операторам гальмівних позицій та локомотивній бригаді під час процедури осаджування, створення передумов для відмови

від регулювальників швидкості руху відчепів, що дозволить підвищити ефективність та безпеку сортувальної системи в цілому. Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі кафедри автоматики, телемеханіки та зв'язку Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та прийняті для розгляду на предмет впровадження на сортувальній гірці станції Нижньодніпровськ-Вузол, що підтверджується відповідними актами.

- Річний економічний ефект від впровадження системи КЗК сортувального парку складає 179 тис. грн./рік.

Список основних праць

1. Рибалка Р. В. Порівняльне дослідження опосередкованих методів вимірювання часових і частотних характеристик лінійного об'єкта на імітаційній моделі / В. І. Гаврилюк, В. В. Безруков, Р. В. Рибалка // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2007. – № 19. – С. 7–12.
2. Рибалка Р. В. Порівняльне дослідження двох вимірювальних сигналів в кореляційній системі ідентифікації / Р.В. Рибалка, В.І. Гаврилюк, В.В. Безруков // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2008. – № 22. – С. 132–137.
3. Рибалка Р. В. Порівняльне дослідження кореляційного методу вимірювання електричних характеристик об'єкту при різних тестових сигналах / Р.В. Рибалка, В.І. Гаврилюк, В.В. Безруков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 13–17.
4. Рибалка Р. В. Автоматизація обробки інформації в системах контролю та діагностування стану стрілочних переводів / Гаврилюк В. І., Маловічко В. В., Рибалка Р. В. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 29–33.
5. Рибалка Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу / Р. В. Рибалка // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2009. – № 26. – С. 154–159.
6. Рибалка Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою імпульсного сигналу / Р.В. Рибалка, В. І. Гаврилюк, І.О. Романцев // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2009. – № 29. – С. 131–133.
7. Рибалка Р. В. Підвищення безпеки сортувальних гірок / Р.В. Рибалка // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2010. – № 31. – С. 214–215.
8. Рибалка Р. В. Метод підвищення безпеки сортувальних гірок / Р.В. Рибалка, В. І. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 1. – С. 51–54.

Список додаткових праць

9. Vladimir Gavriljuk. Investigation of correlation measuring method accuracy for two types of test signals / Vladimir Gavriljuk, Roman Rybalka, Viktor Bezrukov // Transport problems Vol.3 Issue 4 Part 1, Wydawnictwo politechniki slaskiej, Gliwice. – 2008. – С. 33–38.
10. Roman Rybalka. Identification method of linear dynamic systems with spectrum correction procedure used / Roman Rybalka, Vladimir Gavriljuk, Viktor Bezrukov // Advances in transport systems telematics. – Warszawa : Wydawnictwa komunikacji i łączności, 2009. – С. 229–236.
11. Безруков В. В. Порівняльне дослідження опосередкованих методів вимірювання системних характеристик лінійного об'єкта на імітаційній моделі / В. В. Безруков, Р. В. Рибалка, В. І. Гаврилюк // Тези І міжнародної науково-практичної конференції “Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті”. – Д. : ДІТ, 2007. – 114 с., – С. 55.
12. Гаврилюк В. І. Визначення способів автоматичної обробки інформації в системі контролю та діагностування стрілочних переводів / В. І. Гаврилюк, В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції “Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи”. – Д. : ДІТ, 2008. – 122 с., – С. 84–85.
13. Рибалка Р. В. Порівняльне дослідження двох вимірювальних сигналів в кореляційній системі ідентифікації / Р. В. Рибалка, В. І. Гаврилюк, В. В. Безруков // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції “Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи”. – Д. : ДІТ, 2008. – 122 с., – С. 87–88.
14. Гаврилюк В. І. Автоматизація обробки інформації в системі контролю стану стрілочних приводів / В. І. Гаврилюк, В. В. Маловічко, Р. В. Рибалка // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції “Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті”. – Д. : ДІТ, 2009. – 63 с., – С. 15–17.
15. Rybalka R. V. Linear dynamic systems identification method by means of a step signal generalization / Rybalka R. V., Gavriljuk V. I., Bezrukov V. V. // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції “Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті”. – Д. : ДІТ, 2009. – 63 с., – С. 46.
16. Рибалка Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу на вході / Р. В. Рибалка // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції “Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті”. – Д. : ДІТ, 2009. – 63 с., – С. 46–47.
17. Рибалка Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу / Рибалка Р. В. // Тези доповідей 69 міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми та

- перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Д. : ДПТ, 2009. – 330 с., – С. 120–121.
18. Рибалка Р. В. Удосконалення безпеки сортувальних гірок шляхом вирішення задачі контролю заповнення підгіркових колій / Рибалка Р. В. Тези III міжнародної науково-практичної конференції “Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті”. – Д. : ДПТ, 2010. – С. 46.
 19. Пат. 50743 Україна, МПК (2009) B61L 25/00. Спосіб визначення параметрів руху потягу на перегоні при централізованому розміщенні апаратури автоблокування / Романцев І. О., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В. : власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – u 2009 12596; заявл. 04.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
 20. Пат. 50826 Україна, МПК (2009) B61L 7/00. Спосіб автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів / Маловічко В. В., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В. : власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – u 2009 13352; заявл. 22.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
 21. Пат. 51595 Україна, МПК (2009) B61L 25/00. Спосіб контролю заповнення підгіркової колії / Рибалка Р. В., Гаврилюк В. І. : власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – u 2010 00136; заявл. 11.01.2010 ; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14.
 22. Пат. 51855 Україна, МПК (2009) B61L 7/00. Спосіб ідентифікації характеристик лінійної системи / Рибалка Р. В., Гаврилюк В. І. : власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – u 2009 12580; заявл. 04.12.2009 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
 23. Пат. 51856 Україна, МПК (2009) B61L 25/00. Спосіб визначення параметрів рейкової лінії / Рибалка Р. В., Гаврилюк В. І., Завгородній О. В. : власник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – u 2009 12587; заявл. 04.12.2009 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.

Анотація

Рибалка Р. В. Підвищення ефективності контролю заповнення колій сортувального парку шляхом корекції спектрів тестових сигналів в рейкових лініях. –Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2011 р.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності контролю заповнення колій сортувального парку шляхом розробки та застосування методу корекції спектрів тестових сигналів в рейкових лініях, що дозволить підвищити ефективність функціонування сортувальних гірок, за рахунок розробки нової системи контролю заповнення колій сортувального парку.

Вперше розроблений та теоретично обґрунтований метод корекції спектрів тестових та вихідних сигналів, який не порушує співвідношення між входом та виходом аналізованої системи, та дозволяє розширити область застосування ідентифікації за спеціальними тестовими сигналами на входні сигнали, які недостатньо точно апроксимують необхідний тестовий сигнал.

Розроблено вимоги та рекомендації щодо налаштування автоматизованого апаратно-програмного комплексу контролю заповнення колій сортувального парку шляхом встановлення шунта на колії сортувального парку, заповнення якої контролюватиметься, на вказаній множині відстаней.

Ключові слова: контроль заповнення колій, ідентифікація, метод корекції спектрів, штучні нейронні мережі.

Аннотація

Рыбалка Р. В. Повышение эффективности контроля заполнения путей сортировочного парка путем коррекции спектров тестовых сигналов в рельсовых линиях. –Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, Днепропетровск, 2011 г.

В условиях рыночной экономики и конкуренции с другими видами транспорта одним из весомых факторов обеспечения высокой эффективности эксплуатационной работы железной дороги является экономически эффективное решение проблемы сокращения времени выполнения операций на технических станциях за счет автоматизации перевозочного процесса, одной из подсистем которого является система комплексной автоматизации сортировочных горок, которая, в том числе, охватывает контроль перемещения отцепов на путях сортировочного парка. Сортировочные горки являются наиболее загруженным звеном сортировочных станций и одним из основных потребителей энергии на станциях. Среди направлений повышения эффективности функционирования сортировочных горок в современных условиях можно выделить сокращение затрат энергоресурсов на расформирование составов.

Диссертация посвящена повышению эффективности контроля заполнения путей (КЗП) сортировочного парка путем разработки и применения метода коррекции спектров (МКС) тестовых сигналов в рельсовых линиях (РЛ), что позволит повысить эффективность функционирования сортировочных горок, за счет разработки новой системы КЗП сортировочного парка.

В результате критического обзора существующих методов КЗП сортировочного парка выявлено, что задача КЗП не нашла своего полного решения в связи с чем она нуждается в дальнейших исследованиях. Проведен анализ методов измерения системных характеристик линейных объектов, из которого следует, что математический аппарат методов идентификации по специальным тестовым сигналам (СТС) хорошо развит, но в случае применения последних на практике, выявляются ошибки идентификации из-за недостаточно точной аппроксимации реальным входным сигналом необходимого тестового. Для расширения области применения идентификации по СТС на входные сигналы, которые недостаточно точно аппроксимируют необходимый тестовый сигнал, был разработан и теоретически обоснован МКС тестовых и выходных сигналов, который не нарушает соотношение между входом и выходом анализируемой системы. Предложенный метод позволил усовершенствовать метод адаптивной инверсной фильтрации благодаря уменьшению вероятности появления в инверсном фильтре большого усиления на частотах, которые содержат нулевые компоненты, и, следовательно, предотвратить уменьшение отношения “сигнал-шум”. Применение МКС к решению задачи КЗП сортировочного парка наряду с использованием классификатора вида “искусственная нейронная сеть” (ИНС) позволило усовершенствовать метод КЗП, а разработка математической модели системы “рельсовая линия пути сортировочного парка – классификатор”, которая включает предложенные в работе процедуры преобразования тестовых и выходных сигналов РЛ, позволила научно обосновать метод КЗП сортировочного парка с использованием МКС тестовых и выходных сигналов. В результате поиска структуры классификатора на основе ИНС, который выносит решение о степени заполнения пути сортировочного парка, была выбрана многослойная ИНС прямого распространения с 3-мя скрытыми слоями, количеством нейронов в 1-м скрытом слое 15 (функция активации, ФА, “тангенсоида”), во 2-м – 10 (ФА “логистическая”), в 3-м – 5 (ФА “логистическая”) и в выходном – 1 (ФА “линейная”), с обучающим алгоритмом Левенберга-Марквардта. Для получения и исследования характеристик РЛ в зависимости от количества и расположения отцепов на пути сортировочного парка выполнена разработка математической модели электрических процессов в системе “рельсовая линия – отцепы”, научно обоснована ее адекватность. Разработан опытный образец автоматизированного аппаратно-программного комплекса КЗП сортировочного парка, сформулированы рекомендации относительно его настройки: накопление статистических данных производится путем установки шунта на пути сортировочного парка, заполнение которого будет контролироваться, на множестве расстояний 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км.

Разработанные алгоритмы и программная реализация метода коррекции спектров тестовых и выходных сигналов использованы в учебном процессе кафедры автоматики, телемеханики и связи Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна при преподавании дисциплины “Идентификация и моделирование технологических

объектов”. Разработанные методики контроля заполнения путей сортировочного парка путем применения метода коррекции спектров тестовых и выходных сигналов в рельсовых линиях приняты для рассмотрения на предмет внедрения на сортировочной горке станции Нижнеднепровск-Узел. Ожидаемый экономический эффект составляет 179 тыс. грн./год.

Ключевые слова: контроль заполнения путей, идентификация, метод коррекции спектров, искусственные нейронные сети.

Summary

Rybalka R. V. Sorting yard track occupancy control effectiveness increase by means of track line test signals spectrums correction. – Manuscript.

Thesis for candidate of technical science academic degree competition at 05.22.20 – transport means exploitation and maintenance specialty. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2011.

Thesis is dedicated to sorting yard track occupancy control effectiveness increase by means of track line test signals spectrums correction method development and use, which allow hump yard functioning effectiveness increase due to new sorting yard track occupancy control system development.

For the first time test and output signals spectrums correction method developed and theoretical justified, which doesn't disturb input-to-output ratio, and allows to extend special test signals identification area over input signals, that approximates necessary test signal with poor accuracy.

Requirements and recommendation for sorting yard track occupancy control automated hardware and software complex by means of shunt placing at sorting yard track, which occupancy will be controlled, in mentioned distances set, are developed.

Key words: track occupancy control, identification, spectrums correction method, artificial neural networks.

Рибалка Роман Володимирович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ЗАПОВНЕННЯ КОЛІЙ
СОРТУВАЛЬНОГО ПАРКУ ШЛЯХОМ КОРЕКЦІЇ СПЕКТРІВ ТЕСТОВИХ
СИГНАЛІВ В РЕЙКОВИХ ЛІНІЯХ**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку “19” січня 2011 р. Формат 60×84 1/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100 прим.
Замовлення № _____

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, www.diitrvv.dp.ua.