

УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗПЕКИ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК

Представив д.т.н., проф. Чепцов М. М.

Вступ

Галузь залізничної автоматики серед іншого охоплює проблему контролю заповнення колій підгіркового парку сортувальної гірки відчепами (КЗК). Вона полягає як у визначенні відстані від вхідного кінця колії до найближчого відчепу, яким вона зайнята, так і у визначенні проміжків між відчепами в разі недокочування останніх до точки прицілювання (“вікон”).

З метою автоматичного керування уповільнювачами і усунення оператору від процесу гальмування впроваджується система автоматичного регулювання швидкості [1]. При ручному гальмуванні оператор не повністю враховує ряд факторів, що впливають на швидкість скочування відчепів. Неточне гальмування призводить до перегальмовування відчепів й утворення “вікон” між вагонами на підгіркових коліях, виникає необхідність у додатковій операції осаджування для зчеплення вагонів, або недогальмовування і можливий “бій” вагонів.

Заради визначення стану вільності підгіркових колій, застосовуються різноманітні пристрої КЗК [1]. З результатів роботи останніх виробляється програма прицілювального гальмування для кожного відчепу.

Метою роботи є обґрунтування та розробка методу контролю заповнення колій підгіркового парку сортувальної гірки з метою підвищення ефективності роботи та безпеки сортувальних гірок.

Огляд літератури

З літератури відомий спосіб КЗК діленням підгіркової колії на короткі ізольовані ділянки [1], кожна з яких являє собою нормально розімкнуте рейкове коло (РК). Контроль вільності ділянок колії здійснюється

за вимірювальною магістраллю, в яку послідовно ввімкнені вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів, а на виході – первинна обмотка понижуючого трансформатора. Зі вторинної обмотки цього трансформатора знімається напруга, пропорційна довжині вільної колії. Недоліком даного методу КЗК можна вважати наявність у схемі ізолюючих стиків (одного з найненадійніших елементів), а також необхідність розбиття рейкової лінії (РЛ) на ділянки та велика кількість апаратури.

Подібним на метод, пропонований в даній роботі, є застосування способу імпульсного зондування (ІЗ) колії [2], [3]. В даному методі визначення відстані до рухомої одиниці в РК засноване на розрахунку індуктивності РЛ за перехідним процесом струму. За відомою питомою індуктивністю РЛ розраховується відстань до шунта після подачі в РЛ зондуючих імпульсів напруги різної полярності і вимірювання струму. До недоліків цього способу серед іншого можна віднести невисоку точність. Згідно алгоритму роботи блок ІЗ колії витрачає час на подачу пробних імпульсів, а потім робочих. Розрахунок базується на заданій питомій індуктивності РЛ, а через можливі зміни значення питомої індуктивності під час експлуатації з’являтимуться помилки в розрахунках. Даний спосіб чутливий до величини відхилення форми тестового сигналу від еталонного, в т.ч. за рахунок можливих адитивних завад на вході РК.

Метод корекції спектрів

Через недоліки застосування методу корекції спектрів (МКС) стосовно ідентифікації за ступеневим сигналом [4], в якості методу ідентифікації за спеціальними сигналами був обраний метод ідентифікації за

імпульсним сигналом [5]. Більш розгорнуто алгоритм МКС можна подати, як на рис. 1.

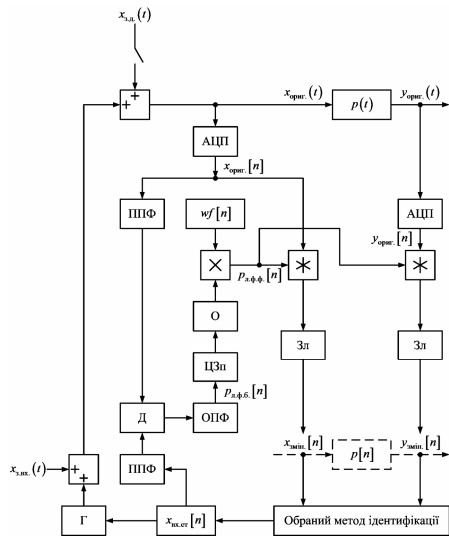


Рис. 1. Структурна схема методу корекції спектрів

На рис. 1 введені позначення: $p(t)$ – імпульсна характеристика (ІХ) лінійної системи, яка ідентифікується; $x_{\text{ориг.}}(t)$, $y_{\text{ориг.}}(t)$ – вхідний та вихідний оригінальні (незмінені) сигнали відповідно; $x_{\text{ориг.}}[n]$, $y_{\text{ориг.}}[n]$ – оцифровані $x_{\text{ориг.}}(t)$ і $y_{\text{ориг.}}(t)$ відповідно; $x_{\text{змін.}}[n]$, $y_{\text{змін.}}[n]$ – вхідний та вихідний змінені сигнали відповідно; $x_{\text{з.д.}}[n]$ – завада, яку можна додавати до $x_{\text{ориг.}}[n]$ для видалення нульових компонентів у спектрі останнього (див., наприклад, [4]); $x_{\text{з.вх.}}[n]$ – небажана завада, що може додаватися до тестового сигналу на вході системи, яка проходить ідентифікацію; $x_{\text{вх.ет.}}[n]$ – вхідний еталонний спеціальний тестовий сигнал в залежності від обраного методу ідентифікації; Γ – реальний генератор тестового сигналу який не ідеально відображає $x_{\text{вх.ет.}}[n]$; ППФ – пряме перетворення Фур’є; ОПФ – обернене перетворення Фур’є; Δ – ділення; $\circ$ – обнуління (відкидання елементів); ЦЗп – циклічний зсув вправо; Зл – зсув вліво; $\times$ – множення; $*$ – згортка; АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

У відповідності до структурної схеми МКС (рис. 1) можна навести узагальнений

алгоритм МКС як вказано нижче. Вихідними даними вважаються: відомий обраний метод ідентифікації за спеціальними тестовими сигналами (за імпульсним сигналом), $x_{\text{вх.ет.}}[n]$, $x_{\text{ориг.}}[n]$, $y_{\text{ориг.}}[n]$, довжина ядра шуканого лінійного фільтра зі скінченною імпульсною характеристикою (КІХ-фільтр), $n=1 \dots N$, де N – кількість виміряних точок. Алгоритм:

1. Знайти бажані характеристики шуканого лінійного фільтра $p_{\text{л.ф.б.}}[n]$, що здійснюється в частотній області;
2. Знайти фактичні характеристики шуканого лінійного фільтра $p_{\text{л.ф.ф.}}[n]$, який реалізований у вигляді КІХ-фільтра [6];
3. Обчислити $x_{\text{змін.}}[n]$ та $y_{\text{змін.}}[n]$, шляхом згортки в часовому просторі з $p_{\text{л.ф.ф.}}[n]$ враховуючи [6] і використати $x_{\text{змін.}}[n]$ та $y_{\text{змін.}}[n]$ для обраного методу ідентифікації.

Математичне моделювання

Схема підключення Γ до РЛ для проведення вимірів згідно запропонованого методу КЗК наведена на рис. 2.

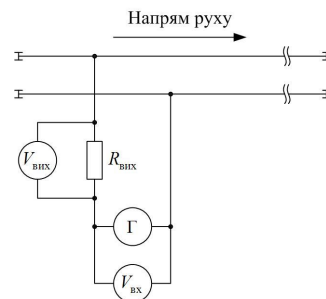


Рис. 2. Схема проведення вимірів

Введені позначення (рис. 2): $V_{\text{вх}}$ і $V_{\text{вих}}$ – АЦП, що вимірюють $x_{\text{ориг.}}[n]$ та $y_{\text{ориг.}}[n]$ відповідно; $R_{\text{вих}}$ – активний опір, з якого знімається вихідний сигнал.

Застосування методу ідентифікації за імпульсним сигналом з МКС для $x_{\text{ориг.}}[n]$ та $y_{\text{ориг.}}[n]$, дозволить спростити вимоги до тестового сигналу, який застосовується в обраному способі ідентифікації характеристик РК в т.ч. відійти від необхідності фільтрації шуму в тестовому сигналі.

В даній роботі пропонується вирішувати задачу КЗК за амплітудо-частотною характеристикою (АЧХ) системи “РЛ – відчіп”. Вибір АЧХ для вирішення задачі КЗК можна обґрунтувати таким чином: в разі наявності нульових компонентів в спектрі тестового сигналу (завада чи несправність генератору тестового сигналу) можна або видалити їх з аналізу, а оцінювати за наявними ненульовими, або додати адитивну заваду $x_{з.д.}[n]$, що міститиме в своєму спектрі ненульові елементи. Коли ж в даній ситуації подібно до методу ІЗ оцінювати характеристики системи в часовому просторі (за перехідним процесом струму), то передбачається виникнення помилки (див., наприклад, [4]). Додатково припускається, що кожному віддаленню відчепа від вхідного кінця РЛ відповідатиме власна (і єдина)

АЧХ (та інші системні характеристики), причому відхилення параметрів РЛ та накладеного шунта (відчепа) звичайно можуть призвести до прийняття невірної рішення. Оцінку величини та розташування “вікон” пропонується проводити на основі даних про відстань до попереднього та поточного відчепів і довжину поточного відчепа.

З метою перевірки роботи запропонованого методу КЗК було проведено математичне моделювання при накладанні нормативного шунта для гіркових РЛ (0.5 Ом [7]) на РК. В якості схеми заміщення РК в шунтовому режимі для РК, зайнятої одною рухомою одиницею (відчепом) у відповідності до рис.2 була прийнята схема, наведена на рис. 3.

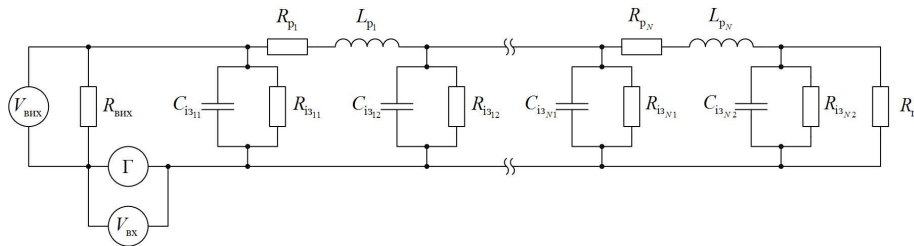


Рис. 3. Схема заміщення системи “РЛ – відчіп”

На рис. 3 введені позначення: $i=1,2,\dots,N$ – номер частини (ланки) РЛ; N – кількість ланок, якими заміщується ділянка РЛ до місця встановлення шунта (обчислюється в залежності від відстані до шунта і відстані, яку заміщає одна ланка); $j=1,2$ – номер частини (паралельного плеча) П-подібної схеми заміщення РЛ; $R_{ш}$ – активний опір шунта, Ом; R_{p_i} – активний опір рейкових ниток заданої довжини, Ом; L_{p_i} – індуктивність рейкових ниток заданої довжини, Гн; C_{i3ij} – ємність ізоляції РЛ заданої довжини, Ф; R_{i3ij} – активний опір ізоляції РЛ заданої довжини, Ом.

В [8] вказується на залежність первинних параметрів РК від частоти. З проведеного аналізу даних, наведених в [8], був обраний частотний діапазон, на якому зміна параметрів від частоти найменша (не перевищує 8% у відхиленні від обраної середньої точки 4 кГц), а саме 2.4...6.6 кГц. То-

му приймається припущення про адекватне представлення математичною моделлю даного прийнятого частотного діапазону. Нелінійність характеристик РЛ в залежності від рівня сигналу відкидається шляхом подання тестового сигналу низького рівня.

Математичне моделювання проводиться в середовищі MatLab за допомогою Simulink. Шляхом розігрування випадкових величин (метод Монте-Карло [9]) розраховуються значення питомих параметрів схеми заміщення РК. За прийнятими питомими параметрами, розраховуються параметри математичної моделі враховуючи віддалення до місця накладання шунта. Схема, надана на рис. 3, конвертується з неперервної моделі в дискретну модель (надається в просторі станів). На вхід математичної моделі з виходу Γ надається масив, який є вхідним оригінальним сигналом.

Для кожного віддалення місця накладання шунта від вхідного кінця РЛ проводиться 25 вимірів (спостережень) з однако-

вою реалізацією вхідного оригінального сигналу на вході і розіграними та розрахованими параметрів математичної моделі. Кількість вимірів, що дорівнює 25 приймається достатньою для оцінювання.

Вхідним оригінальним сигналом був обраний широкосмуговий сигнал, значення відліків якого в часовому просторі підкоряється нормальному закону розподілу випадкових величин. Вибір такого вхідного оригінального сигналу продиктований вимогами МКС та необхідністю незадовільної якості апроксимації ідеального тестового сигналу для даного методу ідентифікації. Задані параметри нормального закону розподілу: математичне сподівання 0, середньоквадратичне відхилення 0.1. Кількість точок у вхідному сигналі дорівнює 1024.

Результати проведеного моделювання

На рис. 4 наведені зразки еталонних АЧХ за однакових питомих параметрів схеми заміщення при різних віддаленнях місця накладання шунта.

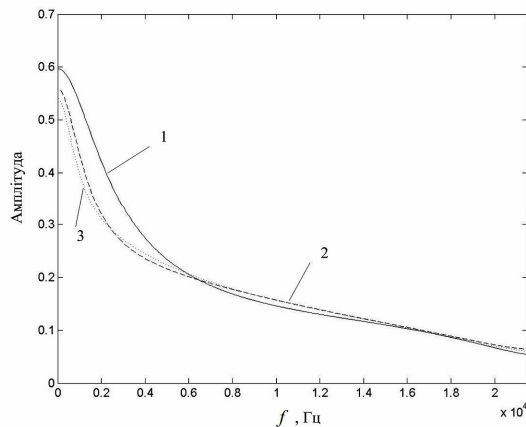


Рис. 4. Еталонні АЧХ при різних віддаленнях місця накладання шунта
1 – 0.10 км; 2 – 0.20 км; 3 – 0.30 км

Пропонований метод вносить похибку до результату ідентифікації, але вона значно менша за похибку, що була б внесена у разі застосування класичного методу ідентифікації за ІХ при даному тестовому сигналі (рис. 5).

З метою підвищення точності розпізнавання відстані до місця накладання шунта та винесення її імовірнісної оцінки, пропонується застосування штучних нейронних

мереж (ШНМ) прямого поширення (feed-forward) [10].

В якості критерію вибору структури і параметрів ШНМ пропонується досягнення мінімуму величини (1.2)

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

$$\left. \left| D_{\text{ет.}}[i] - (m_{\text{оц.}}[i] + 3 \cdot \sigma_{\text{оц.}}[i]) \right| \right] \quad (1.1)$$

$$est = \sum_{i=1}^{N_{\text{гр}}} dev[i] \quad (1.2)$$

де $\max$ – функція, що повертає максимальне значення 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

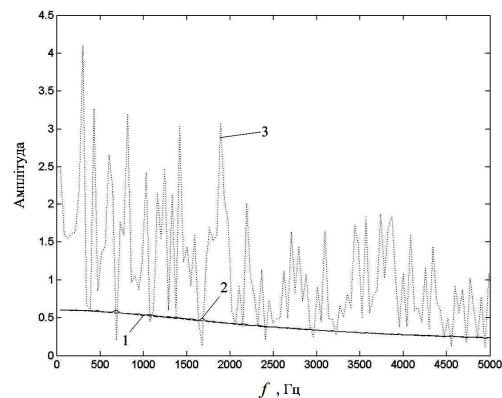


Рис. 5. Фрагмент АЧХ при віддаленні місця накладання шунта 0.10 км
1 – еталонна; 2 – визначена пропонованим методом; 3 – визначена за класичним методом ідентифікації за ІХ

розпізнаних ШНМ відстаней до місця встановлення шунта; $\sigma_{\text{оц.}}$ – оцінка середньоквадратичного відхилення розпізнаних ШНМ відстаней до місця встановлення шунта.

Оцінка (1.2) з однаковою вагою враховує відхилення середнього ($m_{\text{оц.}}$) кожної з груп розпізнаних відстаней до місця встановлення шунта від еталонних, та величину їх розкиду ($\sigma_{\text{оц.}}$). Ідеальне значення оцінки (1.2) $est = 0$ відповідає абсолютно точному розпізнаванню всіх відстаней до місця

встановлення шунта з пропонованого набору.

В результаті пошуку архітектури ШНМ за вищевказаним критерієм, була обрана ШНМ з 3-ма прихованими прошарками, кількістю нейронів 15 в 1-му прихованому прошарку з функцією активації (ФА) [11] “тангенсоїда”, 10 – в 2-му з ФА “логістична” і 5 – в 3-му ФА “логістична”, з навчальним алгоритмом Левенберга-Марквардта.

У відповідності до вищенаведеного було проведено навчання обраної ШНМ з різними наборами відстаней до шунта (відхилення параметрів РЛ від номінальних 5 %), з яких був обраний найкращий набір відстаней: 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км. Моделювання даної ШНМ.

Таблиця 1

Оцінка границь розпізнавання

Відстань до шунта (включно) до ... км	0.14	0.32	0.44
Точність розпізнавання до ... км	0.00 5	0.01	0.01 5

проводилося на більш повному наборі відстаней (0.01, 0.02, ..., 0.44 км), результати якого наведені на рис. 6 та рис. 7. Переважна більшість з розпізнаних груп відстаней підкоряються нормальному закону розподілу, що в свою чергу було перевірено за допомогою критерію хі-квадрат на 5 %-му рівні значимості. З рис. 6 видно, що при відхиленні, оціненому за (1.1), не перекриваються групи відстаней до 0.16 км включно (крок між відстанями 0.01 км). Додаткова ілюстрація оцінки (1.1) наведена на рис. 7, з якого видна майже лінійна тенденція до погіршення розділення розпізнаних відстаней зі зростанням відстані до місця встановлен-

ня шунта. Можна винести таку оцінку границь розпізнавання, яка наведена в табл. 1.

Порівняльна табл. 2 містить результати перевірки БИЗП [3], та результати, отримані в даному розділі за допомогою пропонованого методу без винесення рішення за оцінкою (1.1).

З табл. 2 видне значне покращення точності визначення місцезнаходження відчепу у випадку застосування пропонованого методу відносно БИЗП для усіх встановлених відстаней. На практиці прогнозується не таке значне покращення результатів, оскільки перевірка БИЗП проводилася в польових умовах, а результати пропонованого методу отримані для прийнятої математичної моделі.

Результати табл. 2 у вигляді нормованої діаграми, яка дозволяє оцінити відношення величини помилки розпізнаних відстаней, наведені на рис. 8. Результати моделювання рівномірного слідування відчепу по РЛ з відхиленням параметрів РЛ від номінальних під час слідування 5 % для відстаней 0.001, 0.002, ..., 0.44 км наведені на рис. 9 похибки розпізнавання наведені на рис. 10.

З рис. 9 та рис. 10 видно підтвердження отриманих вище статистичних даних на даній єдиній реалізації слідування відчепу. До 0.04 км все ж спостерігаються деякі неточності (до 0.017 км) у визначенні відстані, як для еталонних АЧХ, так і для отриманих після пропонованого методу.

На рис. 10, в діапазоні 0.04...0.21 км обидві криві містять переважно високочастотні складові, а на діапазоні 0.21...0.44 км загубляється точність визначення відстані за еталонними АЧХ, хоча такого не спостерігається для визначених за АЧХ після пропонованого методу.

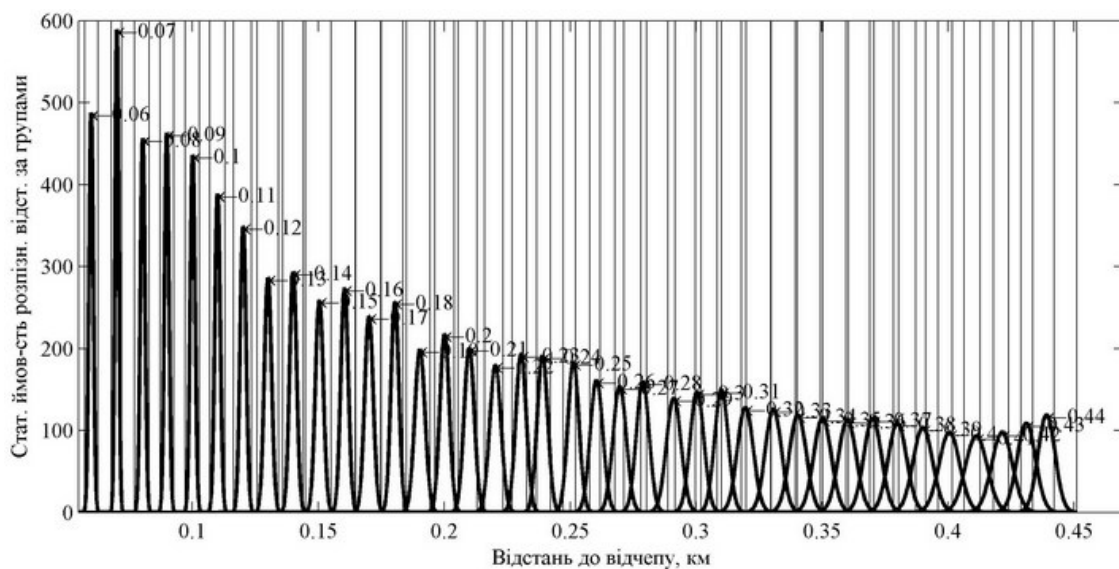


Рис. 6. Криві нормального закону розподілу для розпізнаних відстаней. Навчання для відстаней 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км, моделювання для відстаней 0.01, 0.02, ..., 0.44 км. Відхилення параметрів РЛ від номінальних 5 %

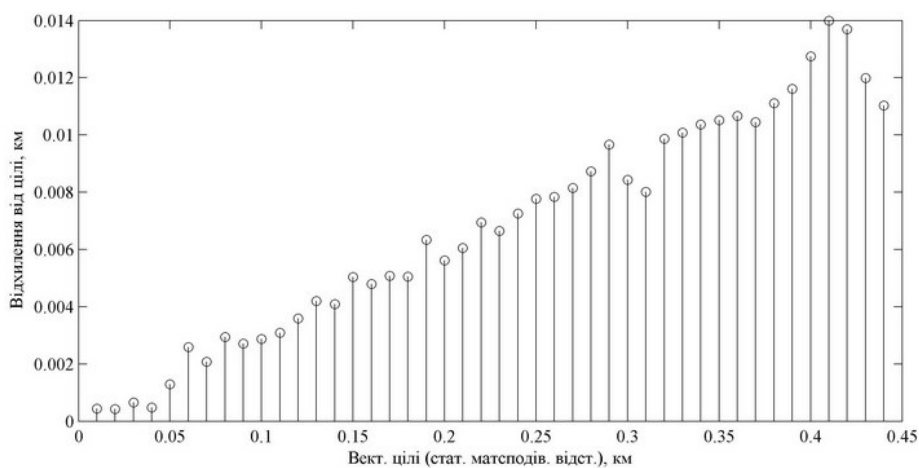


Рис. 7. Величина оцінки (1.1) для розпізнаних відстаней. Навчання для відстаней 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км, моделювання для відстаней 0.01, 0.02, ..., 0.44 км. Відхилення параметрів РЛ від номінальних 5 %

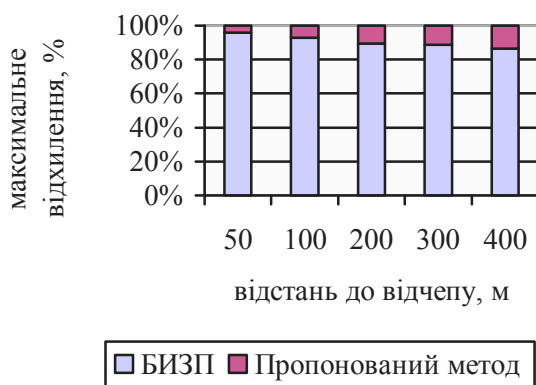


Рис. 8. Максимальне відхилення для деяких відстаней до відчепу, визначених БИЗП і пропонованим методом

Таблиця 2

Порівняння результатів визначення відстаней БИЗП та пропонованим методом

Встановлена відстань, м	БИЗП		Пропонований метод	
	Отримана відстань, м	Макс. відхилення, м	Отримана відстань, м	Макс. відхилення, м
50	36-64	14	49.4-50.7	0.6
100	82-118	18	98.6-101.6	1.4
200	175-225	25	197.1-203.1	2.9
300	267-333	33	295.8-304.8	4.2
400	360-440	40	393.7-407.2	6.3

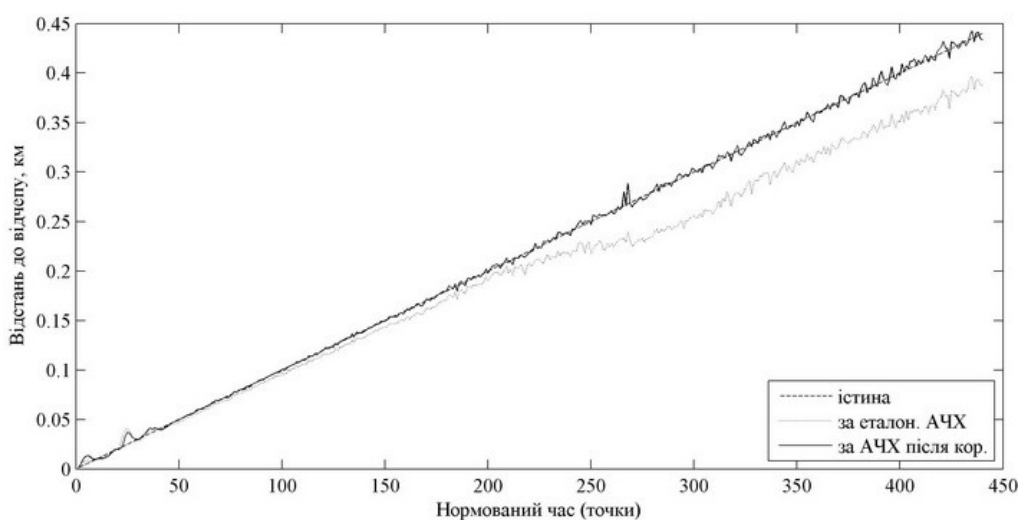


Рис. 8. Розпізнані відстані для відстаней 0.001, 0.002, ... , 0.44 км, відхилення параметрів РЛ від номінальних 5 %

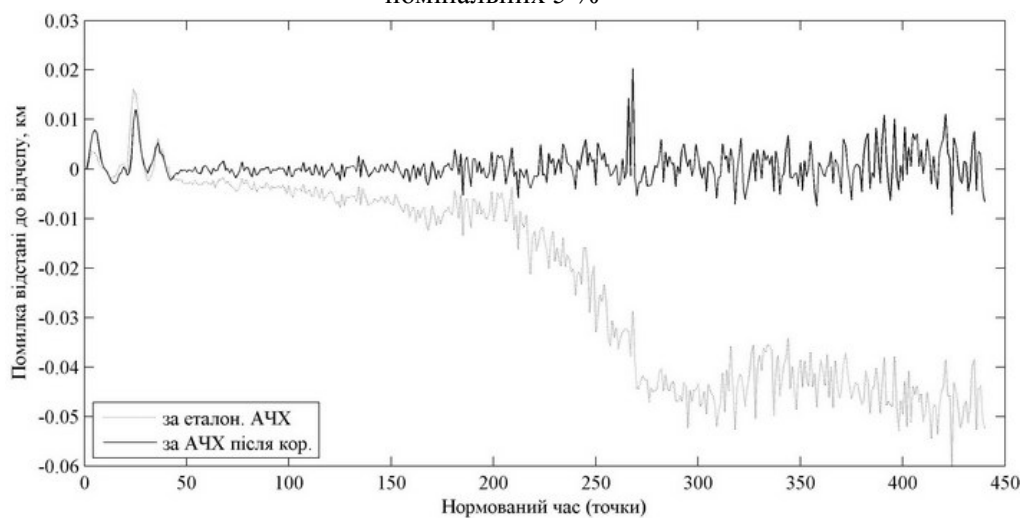


Рис. 9. Похибки розпізнавання відстані для відстаней 0.001, 0.002, ... , 0.44 км, відхилення параметрів РЛ від номінальних 5 %

Висновки

З метою підвищення ефективності роботи та безпеки сортувальних гірок в роботі наведене наукове обґрунтування та запропоновано метод контролю заповнення колій підгіркового парку сортувальної гірки.

В якості класифікатору, найкраще зарекомендувала себе ШНМ з 3-ма прихованими прошарками, кількістю нейронів 15 в 1-му прихованому прошарку з функцією активації (ФА) “тангенсоїда”, 10 – в 2-му з ФА “логістична” і 5 – в 3-му ФА “логістична”.

Були отримані ймовірнісні оцінки точності визначення відстані до місця накладання шунта для набору даних для моделювання ШНМ з групами відстаней 0.01, 0.02, ..., 0.44 км, переважна більшість з розпізнаних груп відстаней підкоряються нормальному закону розподілу.

На основі проведеного моделювання можна винести рекомендації до отримання сукупності даних для навчання ШНМ: необхідно провести вимірювання (неменше за 25) для відстаней 0.001, 0.01, 0.02, ..., 0.2, 0.22, ..., 0.44 км, в табл. 1 зведені оцінки точності визначення відстані за пропонованим методом.

Результатом даної роботи являється удосконалення методу КЗК, що дозволить спростити вимоги до тестового сигналу, який застосовується в обраному способі ідентифікації характеристик РК в т.ч. відійти від необхідності фільтрації шуму в тестовому сигналі; зменшити кількість апаратури на одну контрольовану колію; збільшити точність визначення відстані від вхідного кінця підгіркової колії до найближчого відчепу, яким вона зайнята; відмовитися від використання ізолюючих стиків для розділення на контрольовані секції; прискорити розпуск составів завдяки появі передумов для більш точного вирішення задачі прицільного гальмування тим самим удосконаливши ефективність роботи та безпеку сортувальних гірок.

Бібліографічний список

1. Казаков, А. А. Релейная централизация стрелок и сигналов [Текст] / А. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1984. – 312 с.
2. Одикадзе, В. Р. Система контроля за заполнения путей методом импульсного зондирования КЗП ИЗ [Текст] / В. Р. Одикадзе // Автоматика связь информатика. – 2008. – №11. – С. 14-15.
3. Блок импульсного зондирования пути БИЗП. Руководство по эксплуатации ИТАЖ.468169.001 РЭ, 2003.
4. Рибалка, Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою ступеневого сигналу [Текст] / Р. В. Рибалка // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2009. – № 26. – С. 154-159.
5. Рибалка, Р. В. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою імпульсного сигналу [Текст] / Р. В. Рибалка, В. І. Гаврилук, І. О. Романцев // Вісник ДІІТу ім. В. Лазаряна. – 2009. – № 29. – С. 131-133.
6. Smith W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition / Steven W. Smith – San Diego, CA : California Technical Publishing, 1999. – 650 с.
7. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, 1992. – 384с.
8. Определение электрических параметров рельсового пути // Железные дороги мира. – 2000. – № 1. – С. 57 – 61.
9. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
10. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание [Текст] / Хайкин С. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
11. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] / Круглов В. В., Борисов В. В. – М.: Горячая линия, 2002. – 382 с.

Ключові слова: безпека функціонування, задачі контролю заповнення колій, методу корекції спектрів.

Ключевые слова: безопасность функционирования, задачи контроля заполнения путей, метод коррекции спектров.

Key words: functioning safety, track occupancy control task solution, spectrums correction method.

Надійшла до редколегії 21.10.2010.

Прийнята до друку 25.10.2010.

