

ПРО ОДИН КЛАС СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ З ДИСКРЕТНОЮ ЗМІНОЮ ЧАСТОТИ

© Кузик А.О., Сумик М.М., 2011

Подані результати моделювання складних сигналів з дискретною зміною частоти. Проаналізовано вплив параметра p на кореляційні та частотні властивості радіоімпульсних сигналів з кількістю частотних сходинок $N = 10$.

Ключові слова: радіоімпульс, кореляційна властивість.

The given results of design of difficult signals are with the discrete change of frequency. It is analysed influence of some parameter of p on cross-correlation and frequency properties of radiopulse signals with the amount of frequency steps of $N = 10$.

Key words: radiopulse, cross-correlation properties.

Дискретні ширококугові радіолокаційні сигнали можна формувати не тільки внутрішньоімпульсною фазовою маніпуляцією, але і за допомогою зміни частоти через певні інтервали часу T_e .

Одним із класів таких сигналів є дискретні сигнали, коли різниця частот радіоімпульсів на двох сусідніх інтервалах є постійною величиною, що дорівнює $\Delta\omega$.

Часову модель таких сигналів можна подати у вигляді

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} S(t - nT_e) \cos[(\omega_0 + n\Delta\omega)(t - nT_e)], \quad (1)$$

де n – порядковий номер елементарного радіоімпульсу (змінюється від 0 до $N-1$); N – кількість елементарних радіоімпульсів в сигналі; $S(t - nT_e)$ – функція, яка описує закон зміни обвідної n -го елементарного радіоімпульсу; nT_e – час запізнення n -го елементарного радіоімпульсу відносно першого; ω_0 – кругова частота першого елементарного радіоімпульсу; $n\Delta\omega = n2\pi\Delta f$ – приріст частоти n -го елементарного радіоімпульсу (відносно частоти першого).

Залежно від обмежень, які накладаються на параметри сигналу (параметри можуть бути і випадковими), одержують різні класи складних сигналів.

Для дослідження вибрано клас сигналів з детермінованими значеннями параметрів, які задовольняють умову $T_e\Delta f = p$, де p – будь-яке число.

У літературних джерелах такі сигнали називають імпульсними послідовностями з частотним зсувом або сигналами зі ступінчастою частотною модуляцією.

Основні властивості складних сигналів визначають на основі досліджень їх функцій невизначеності.

У комплексному вигляді сигнал (1) можна описати так:

$$\dot{s}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \dot{S}_n(t - nT_e) e^{j\omega_0 t}, \quad (2)$$

де $\dot{S}_n(t - nT_e)$ – комплексна обвідна n -го елементарного радіоімпульсу,

$$\dot{S}_n(t - nT_e) = S_n(t - nT_e) e^{jn\Delta\omega(t - nT_e)}.$$

Підставляючи ці значення у формулу функції невизначеності,

$$\chi(\tau, \omega_d) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} \dot{S}_n(t - nT_e) \sum_{n=0}^{N-1} S_n(t - nT_e - \tau) e^{j\omega_d t} dt \right| \quad (3)$$

визначимо функцію невизначеності досліджуваного сигналу.

Вибираючи параметри сигналу

$$S(t - nT_e) = \begin{cases} 1, & nT_e \leq t \leq (n+1)T_e, \quad n = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \\ 0, & \text{для інших значень } t \end{cases}$$

$\omega_0 T_e = 2\pi p$, де p – будь-яке ціле число;

і здійснивши доволі складні перетворення, вираз функції невизначеності цього сигналу приводимо до вигляду

$$\chi(\tau, f_\delta) = \left\{ A^2 + B^2 + 2AB \cos[(N-2)(\pi\Delta f T_e)] \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де

$$A = \frac{\sin[\pi(f_\delta + k\Delta f)(\tau - \tau')] \sin[\pi(N-k)(f_\delta T_e + \Delta f \tau')]}{\pi(f_\delta + k\Delta f) \sin[\pi(f_\delta T_e + \Delta f \tau')]},$$

$$B = \frac{\sin\{\pi[f_\delta(k+1)\Delta f]\tau'\} \sin\{\pi(N-k-1)[(f_\delta - \Delta f)T_e + \Delta f \tau']\}}{\pi[f_\delta + (k+1)\Delta f] \sin\{\pi[(f_\delta - \Delta f)T_e + \Delta f \tau']\}},$$

де $-\tau = kT_e + \tau'; 0 \leq \tau' \leq T_e; 0 \leq k \leq N-1$.

З виразу (4) випливає, що функція невизначеності сигналу із ступінчастою модуляцією частоти істотно залежить від добутку величини частотної сходинки Δf на тривалість сходинки T_e . Цей добуток $p = \Delta f T_e$ є одним із важливих параметрів сигналу, який визначає властивості його функції невизначеності.

Залежно від значень величини цього параметра розрізняють різні класи сигналів із ступінчастою частотною модуляцією. Відомі* лише деякі результати досліджень властивостей цих сигналів при $p=1$ та $p=0,5$.

Нижче наведені результати досліджень основних властивостей таких сигналів за інших значень параметра p .

Функція автокореляції сигналів із ступінчастою частотною модуляцією є перерізом функції невизначеності площиною $f_\delta = 0$ і описується за допомогою такого виразу:

$$\chi(\tau, 0) = \left\{ \left[\frac{\sin[k\pi\Delta f(T_e - \tau')] \sin[(N-k)\pi\Delta f \tau']}{k\pi\Delta f \sin(\pi\Delta f \tau')} \right]^2 + \left[\frac{\sin[\pi(k+1)\Delta f \tau'] \sin[\pi\Delta f(N-k-1)(\tau' - T_e)]}{\pi\Delta f(k+1) \sin[\pi\Delta f(\tau' - T_e)]} \right]^2 + 2 \frac{\sin[k\pi\Delta f(T_e - \tau')] \sin[(N-k)\pi\Delta f \tau'] \sin[(k+1)\pi\Delta f \tau'] \sin[(N-k-1)\pi\Delta f(\tau' - T_e)]}{(k\pi\Delta f) \sin(\pi\Delta f \tau') [(k+1)\pi\Delta f] \sin[\pi\Delta f(\tau' - T_e)]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

У точці $\tau' = 0$ на ділянці $k=0$ функція автокореляції досягає максимуму

$$\chi(0, 0) = N \quad (6)$$

* Сумик М.М., Прудіус І.Н., Сумик Р.М. Теорія сигналів. – Львів: Вид-во “Бескид-Біт”, 2008.

Функція кореляції перший раз приймає нульове значення на ділянці $k=0$ при

$$\tau' = \frac{T_e}{N\Delta f T_e}.$$

Одержане співвідношення дозволяє визначити коефіцієнт стиснення сигналу.

Оскільки тривалість сигналу на вході оптимального фільтра $T_c = NT_e$, а тривалість стисну-

того сигналу за точками перших мінімумів дорівнює $\frac{2T_e}{N\Delta f T_e}$, то коефіцієнт стиснення

$$B = \frac{N^2 \Delta f T_e}{2}. \quad (7)$$

З (7) випливає, що коефіцієнт стиснення сигналу залежить як від числа сходинок N , так і від добутку $p = \Delta f T_e$.

У випадку $p=1$ функція автокореляції поводить по-різному. Підставивши в (5)

$f_d = 0$, $k = 0$, одержуємо вираз для функції автокореляції на першій ділянці

$$\chi_0(\tau', 0) = \left| (T_e - \tau') \frac{\sin|\pi N \Delta f \tau'|}{\sin(\pi \Delta f \tau')} + \tau' \frac{\sin[(N-1)\pi \Delta f \tau']}{\pi \Delta f \tau'} \right|, \quad (8)$$

який у разі деяких спрощень дає змогу описати зміну функції автокореляції поблизу центрального піка так:

$$\chi_0(\tau', 0) \approx T_e \frac{\sin(N\pi \Delta f \tau')}{\sin(\pi \Delta f \tau')}.$$

Перший боковий пелюсток досягає максимуму при $\tau' \approx \frac{3}{2N\Delta f}$. Відносна величина цього

пелюстка (нормована відносно центрального піка) дорівнює

$$\delta_1 \approx \frac{2}{3\pi} \approx 21\%.$$

На ділянці $k=0$, відносні величини інших бокових пелюстків задовольняють співвідношення

$$\delta_m \leq \frac{2}{(2m+1)\pi}, \quad m=1,2,3,\dots, \quad (9)$$

де m – порядковий номер бокового пелюстка.

Аналіз показує, що для сигналів із іншими значеннями параметра p виникають піки неоднозначності, величина і структура яких залежить від значення p .

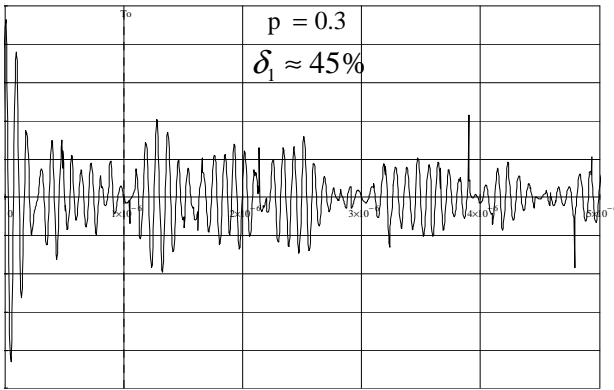
На рис. 1 – 10 наведені графіки функції автокореляції радіосигналів при значеннях $p = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2$ та 1.5 .

У випадку $\Delta f T_e = 0.5$ функція автокореляції сигналу із ступінчастою частотною модуляцією крім головного піка на ділянці $k=0$, $\tau=0$ має ще і піки неоднозначності на ділянках $k \geq 1$, $\tau=0$. Величини піків неоднозначності можна визначити за допомогою співвідношення

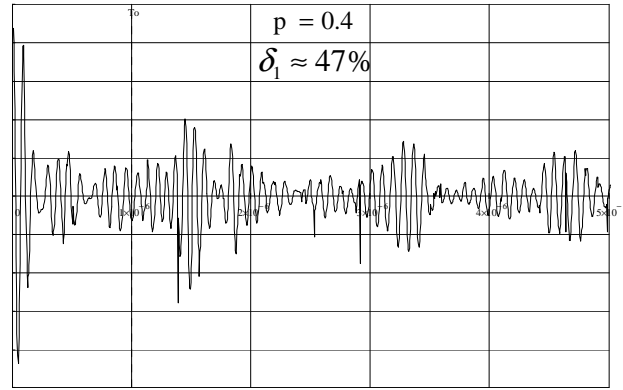
$$[\chi_k(\tau, 0)]_{\tau=0} = (N-k)T_e \frac{\sin \frac{k\pi}{2}}{\frac{k\pi}{2}}, \quad (10)$$

де k – номер ділянки, на якій виникає пік неоднозначності.

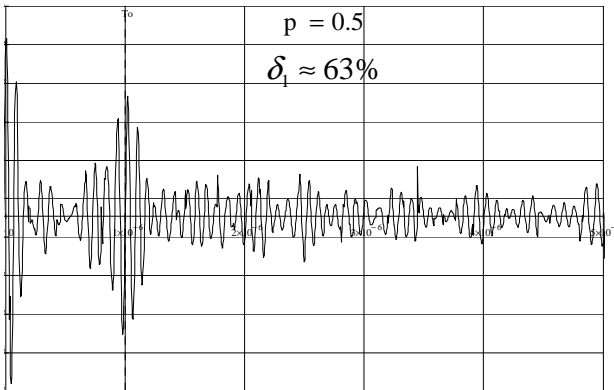
У випадках $p = 0.3 \dots 1.5$ піки неоднозначності виникають на ділянках $k T_e$



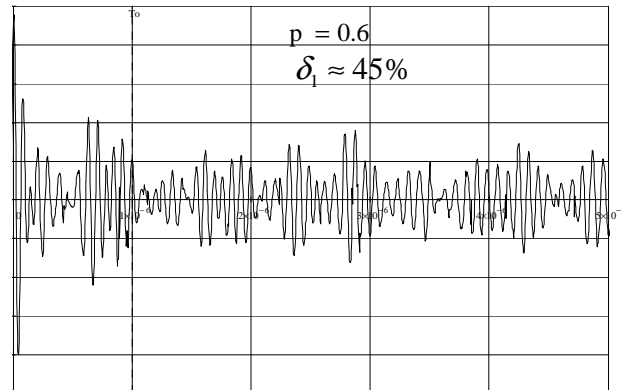
Puc. 1



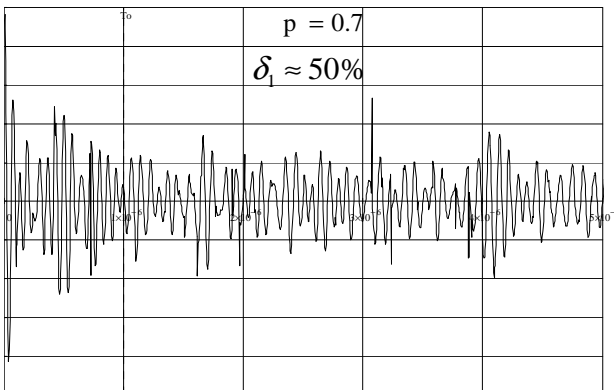
Puc. 2



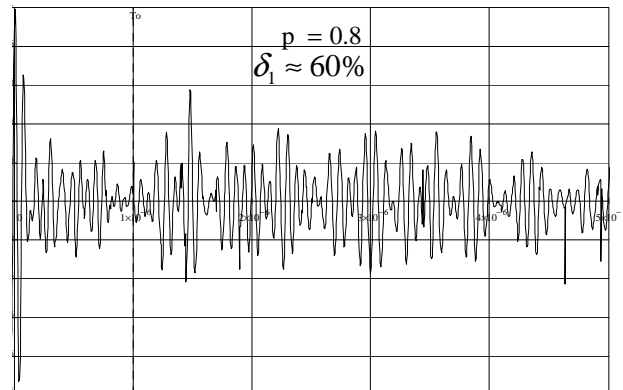
Puc. 3



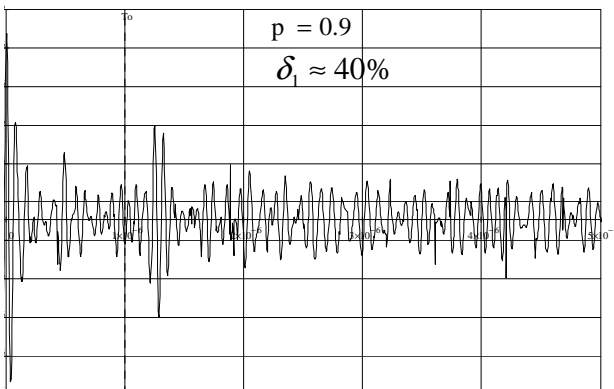
Puc. 4



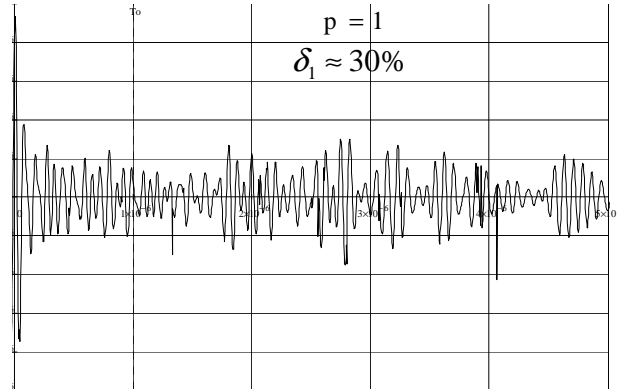
Puc. 5



Puc. 6



Puc. 7



Puc. 8

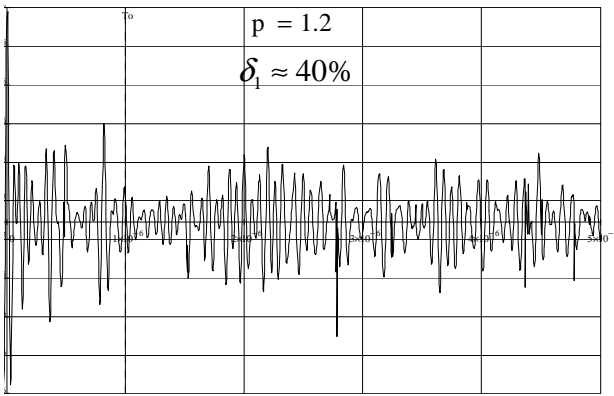


Рис. 9

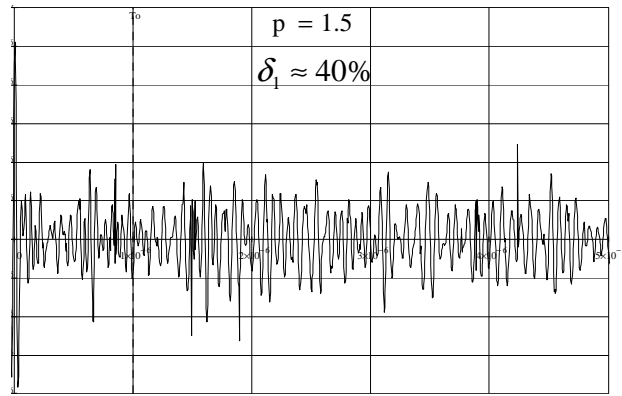


Рис. 10

Істотно впливає вибір параметра p на форму спектра сигналу. На рис. 11–20 наведені графіки спектрів сигналів за різних значень p .

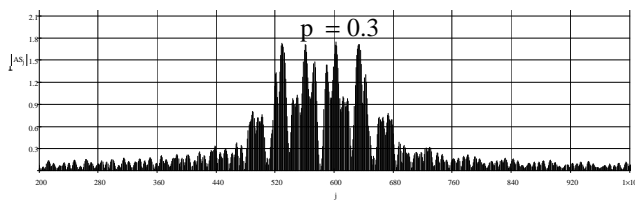


Рис. 11

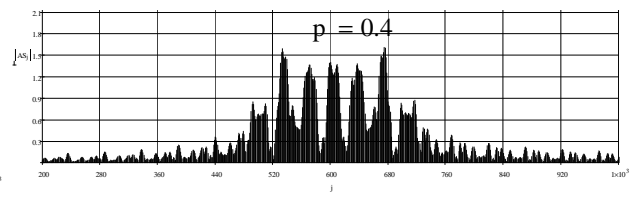


Рис. 12

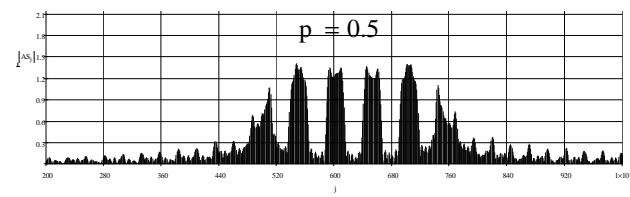


Рис. 13

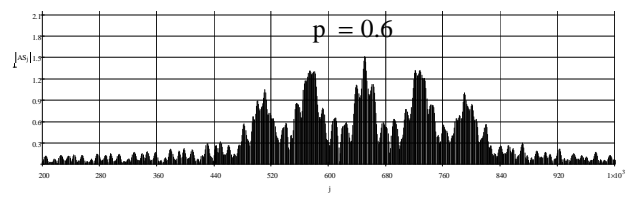


Рис. 14

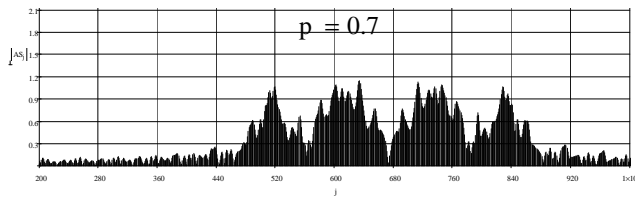


Рис. 15

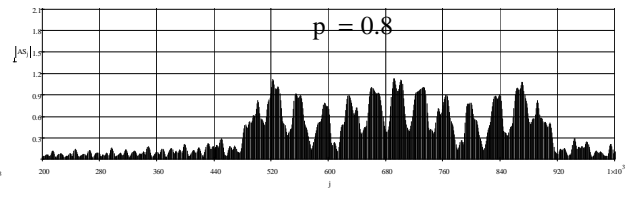


Рис. 16

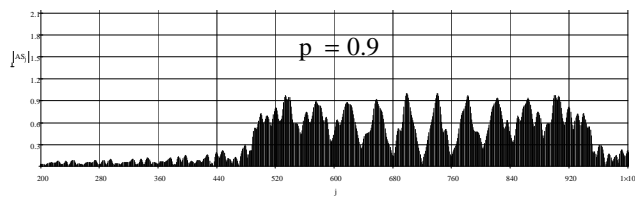


Рис. 17

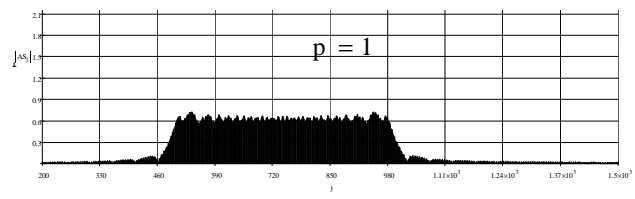


Рис. 18

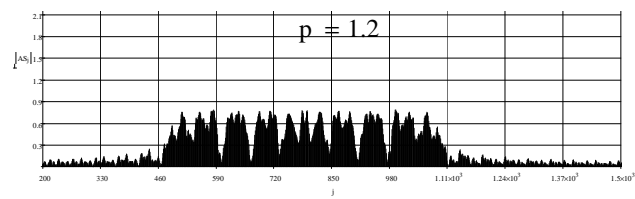


Рис. 19

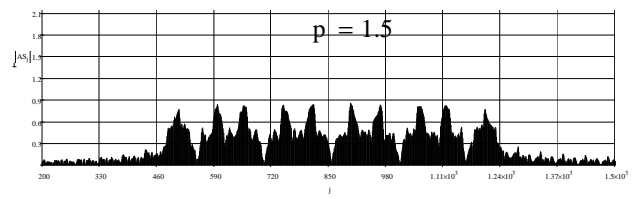


Рис. 20

З наведених графіків випливає, що у разі наближення параметра p до 1, форма обвідної спектра наближується до прямокутної форми, тоді як структура спектра в окрузі головного пелюстка є багатопелюстковою і залежить як від параметра p , так і від параметра N . Багатопелюстковість спектра можна використати для зменшення впливу завад у тих частинах спектра сигналу, де спостерігаються мінімуми обвідної.

Варто відзначити, що величина бокових пелюстків (за винятком піків неоднозначності) практично не залежить від p .

З наведених розрахунків випливає, що можливий компроміс між величиною піків неоднозначності та структурою спектра сигналу за різних значень p . У разі використання таких сигналів у системах з вгамуванням пасивних завад це може вплинути на якісні показники роботи системи.

УДК 621.3.018.1

С.Р. Пукіш, Р.М. Якимів

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій

ПОБУДОВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ ДЕФЕКТОСКОПІ РЕЙОК

© Пукіш С.Р., Якимів Р.М., 2011

Дуже важливим з погляду безпеки залізничних перевезень є своєчасне виявлення небезпечних дефектів рейок, які можуть призводити до аварійних ситуацій. Одним з методів такої діагностики є метод електромагнітної дефектоскопії, який успішно використовується в Україні та на теренах СНД. У цій роботі розглядається підхід для виявлення дефектів у залізничній рейці на основі оброблення сигналів з вагона-дефектоскопа з використанням штучної нейронної мережі (ШНМ).

Ключові слова: штучна нейронна мережа, дефект рейок.

Very important in terms of the safety of rail transportation is the timely detection of dangerous defects in rails, which can lead to accidents. One of the methods of such diagnosis is the electromagnetic flaw detection method which is successfully used in Ukraine and the CIS countries. In this paper approach for the detection of defects in rail on the basis of signals processing from fault-detection carriage using artificial neural network (ANN) is considered.

Key words: artificial neural network, defects in rails.

1. Вступ

Найважливіше питання при магнітному методі швидкісного контролю рейок – це виділення інформації про дефекти з дефектоскопічного сигналу, знятого під час руху вагона-дефектоскопа. Відомо, що найпоширеніші і найнебезпечніші дефекти рейок спричиняють типову форму сигналу на вагонних реєстраторах. Актуальність завдань розроблення методів та алгоритмів комп'ютерної обробки сигналів рейкової дефектоскопії зумовлюється тим, що тепер процес аналізу цих сигналів звичайно здійснюється в напівручному режимі на основі візуальних експертних оцінок. Для підвищення ефективності роботи оператора-експерта необхідно здійснити автоматизацію аналізу сигналів. У роботі розглянуто підхід для виявлення дефектів у рейці на основі обробки сигналів заїздів вагона-дефектоскопа, використовуючи штучну нейронну мережу.