

УДК 656.25:656.256

КУЗЬМЕНКО Д.М., інженер (Харків);
БЛИНДЮК В.С., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ);
ЧЕПЦОВ М.Н., д.т.н., доцент (ДонІЗТ).

Аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від кількості ліній затримок

Вступ, аналіз публікацій

Використання технології нейромережевого моделювання функцій керування технологічними процесами дедалі стає поширенішим [1]. Здебільше це обумовлено властивістю нейронних мереж до навчання як на етапі проектування, так і в процесі їх функціонування. Така гнучкість, зокрема, дозволяє одночасно зі зміною умов експлуатації виконувати реконфігурацію функцій діючих пристроїв без модифікації технічних засобів. Ця властивість є особливо привабливою при розробці пристроїв залізничної автоматики. З іншого боку, системи керування рухом поїздів повинні відповідати нормативним вимогам щодо забезпечення надійності та безпеки [2]. Тому, поряд з розробкою функціональних моделей, необхідно досліджувати показники безвідмовності технічних та програмних засобів автоматизації.

З урахуванням цього, в роботі [3] наведені результати аналізу можливості застосування нейронних мереж для моделювання функцій систем керування рухом поїздів. На основі удосконаленого алгоритму навчання за методом зворотного поширення помилки розроблена нейродинамічна нелінійна авторегресійна модель базового елемента, яка виконує найпростішу відповідальну функцію. Дослідження її стійкості в залежності від структури нейронної мережі наведені в роботі [4].

Результати моделювання свідчать про достатню ефективність запропонованих методів синтезу та функціональних моделей, але питання надійності програм-

но-технічних засобів реалізації не знайшло необхідного відображення. Крім цього, в публікаціях практично відсутнє теоретичне обґрунтування вибору необхідної для вирішення конкретної задачі структури динамічної нейронної мережі.

Мета роботи

Аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від складності внутрішньої структури (зокрема від кількості ліній затримки) з урахуванням її реалізації у вигляді мікропроцесорного пристрою залізничної автоматики.

Основний матеріал

Як відомо [5 - 8], для моделювання показників надійності електронних та мікропроцесорних пристроїв застосовується експонентний закон розподілу відмов. Для цієї елементної бази його використання виправдане й доведене статистичними випробуваннями [5, 6]. При цьому ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови пристрою визначаються відповідно виразів

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

де λ - інтенсивність відмов.

Слід зазначити, що для електронних та мікропроцесорних компонентів критерієм відмови є результат такої зміни влас-

тивостей під впливом зовнішніх або внутрішніх факторів, при якому їх функціональні параметри виходять за межі встановлених в конструкторсько-технічній документації [5, 7]. З іншого боку, для реалізованого пристрою критерієм відмови є невиконання власного функціонального призначення. Як висновок: не всі ушкодження компонентів призводять до відмови пристрою в цілому, тобто його надійність залежить від спроможності виконувати функції, які реалізовані. Тому ймовірність невиконання функції (ймовірність відмови) пристрою є умовною до ймовірності відмови компонентів. З рахуванням цього, за теоремою множення залежних випадкових подій [9]

$$Q_{\Pi}(t) = Q_K(t) \cdot Q_{\Phi}(t), \quad (3)$$

де $Q_{\Pi}(t)$ - ймовірність відмови пристрою в цілому; $Q_K(t)$ - ймовірність відмови електронних компонентів, на якому реалізовано пристрій; $Q_{\Phi}(t)$ - ймовірність невиконання передбаченої функції.

Перший множник у виразі (3) визначається за формулою (2), причому кількісна характеристика інтенсивності відмов отримується в результаті випробувань виробником елементної бази. Як наведено в роботі [9] – $\lambda = const$, її чисельне значення обумовлено технологією виготовлення мікросхем і знаходиться в діапазоні $\lambda = (1 \div 22) \cdot 10^{-9}$ (1/год).

Другий множник у виразі (3) залежить від реалізованих у пристрої функцій. Так, мінімальна структура нейродинамічної моделі базового елемента [3] складається з трьох нейронів у першому та одного у другому шарі ($y_0 - y_2$ та y_{out}), двох ліній затримки (z_{in}^{-1} , z_{out}^{-1}) – за входом і за виходом відповідно (рисунк 1). Функціональність моделі забезпечується ваго-

вими коефіцієнтами w_{ij} , значення яких розраховується в процесі навчання за ап-ріорно визначеними векторами \overline{in} та \overline{out} .

Можлива реалізація моделі складатиметься з двох частин: виконання математичних обчислень (нейрони) та збереження значень вагових коефіцієнтів. Перша частина виконується мікропроцесором, кількісні характеристики ймовірності його відмови є довідковими даними. З урахуванням того, що функціональність пристрою повністю забезпечується значеннями вагових коефіцієнтів, надійність цієї частини реалізації моделі відповідає виразу (3), де перший множник належить до елемента запам'ятовування, другий – до ймовірності невиконання необхідної функції. Під необхідною функцією розуміється виконання рівняння

$$\overline{out}_{\Phi} = \overline{out}, \quad (4)$$

якщо $\overline{in}_{\Phi} = \overline{in}$, тобто реалізація моделі в процесі роботи повинна повністю відповідати проектним умовам.

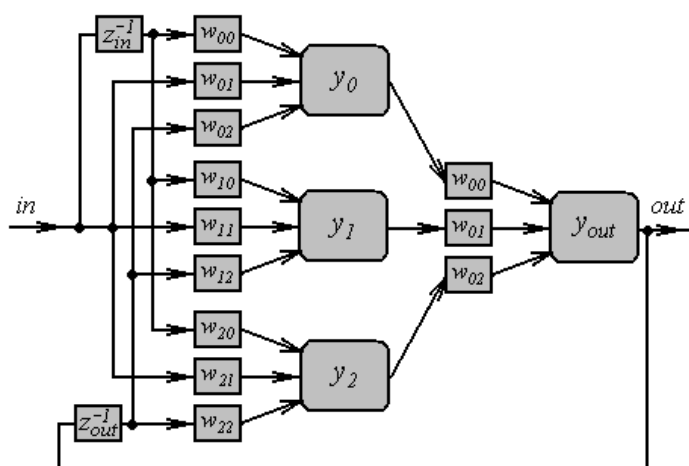


Рисунок 1.- Структура нейродинамічної моделі базового елемента

Слід зазначити, що зміна значення будь-якого коефіцієнта w_{ij} внаслідок ушкодження елемента пам'яті призведе до невиконання рівняння (4). Це обумовлено мінімальною конфігурацією моделі, причому для цього випадку $Q_{\Phi}(t) = 1$, тобто вираз (3) перетворюється до $Q_{\Pi}(t) = Q_K(t)$, де $Q_K(t)$ - ймовірність відмови елемента пам'яті.

З іншого боку, якщо за умовами функціонування пристрою припустима ненульова помилка за вихідним вектором, то вираз (3) складатиметься з двох множників, і загальна надійність пристрою збільшуватиметься.

Останнє твердження потребує більш детального розгляду. Так, прийемо за критерій виконання встановленої функції середньоквадратичну енергію помилки моделі [1]

$$E = \frac{1}{2} (\overline{out_{\Phi}} - \overline{out})^2, \quad (5)$$

де out_{Φ} - вихідний вектор моделі, який формується в результаті функціонування моделі; out - апріорно визначений у процесі навчання нейронної мережі вектор (еталонний).

Розглянемо вплив на енергію помилки зміну значення одного вагового коефіцієнту на випадкове, розподілене за нормальним законом. При цьому індекси w_{ij} також обираються випадково на кожній ітерації процесу досліджень. Результати досліджень наведені на рисунку 2 у вигляді гістограм для моделей, структура яких відрізняється кількістю ліній затримок (одна пара, дві та три відповідно). Розмір векторів in та out_{Φ} складався з 63 елементів. Після кожної ітерації вагові коефіцієнти відновлювались.

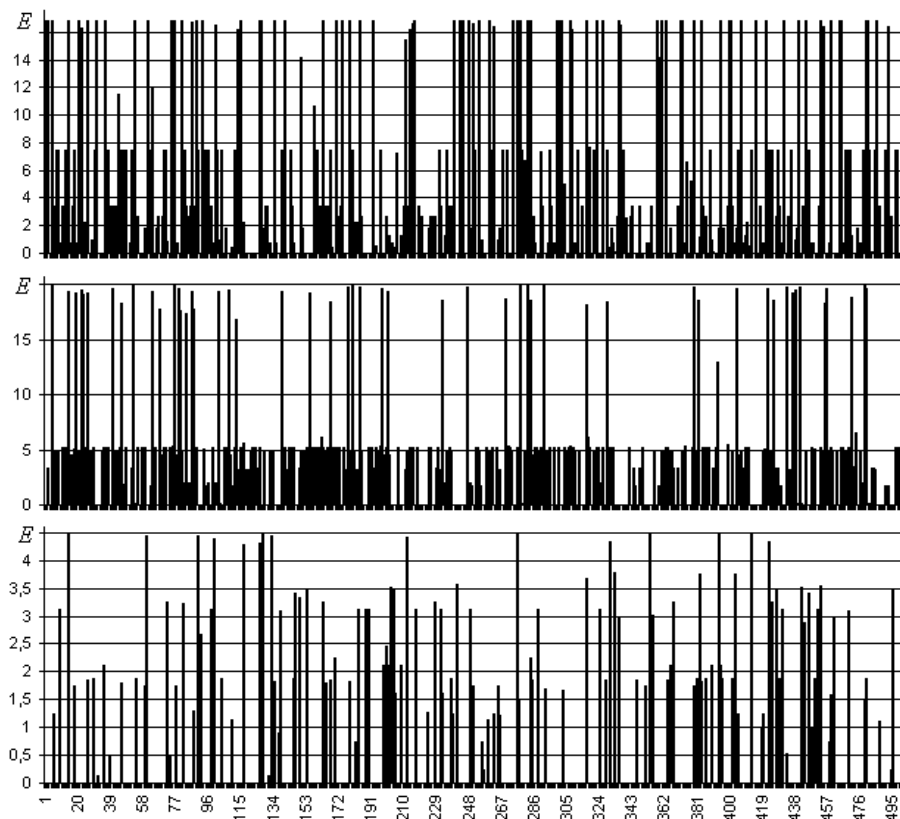


Рисунок 2. - Гістограми розподілу середньоквадратичної енергії помилки за ітераціями процесу досліджень

Як видно з рисунку 2 зі збільшенням кількості ліній затримки зменшується ймовірність отримання більшого значення енергії помилки, тобто за рахунок ускладнення структури підвищується надійність моделі. Для отримання кількісних показників безвідмовності, по-перше, розглянемо потік відмов, на основі якого можлива апроксимація функції щільності розподілу часу безвідмовної роботи $f_{\Phi}(t)$.

Для цього, по-перше, розглянемо проміжну дискретну функцію $f_{\Phi}(iter)$ - щільність розподілу кількості ітерацій процесу аналізу, коли сумарна середньоквадратична помилка вихідної послідовності $E \in [0; E_{max}]$ не перевищує рівня

$$\Delta E = \frac{E_{max}}{20} \text{ (рисунок 3).}$$

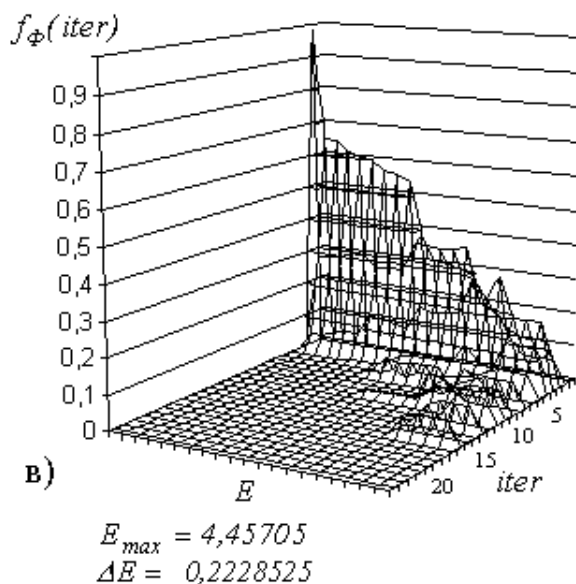
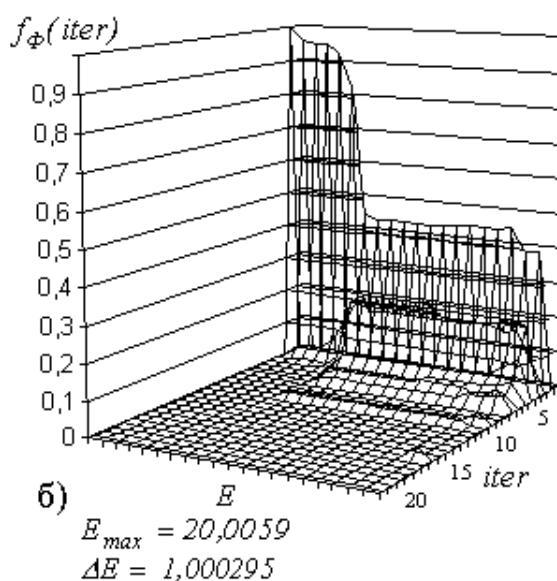
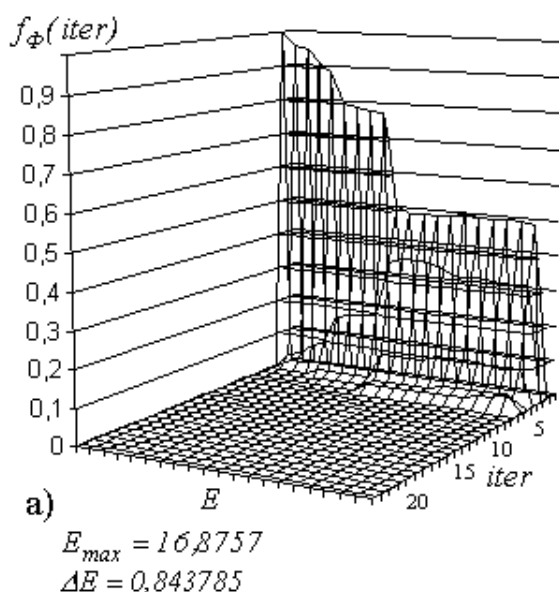


Рисунок 3. - Поверхні щільності розподілу кількості ітерацій $f_{\Phi}(iter)$, коли сумарна середньоквадратична помилка вихідної послідовності не перевищує ΔE для моделей, які відрізняються кількістю ліній затримок

Аналіз наведених на рисунку 2 множин функцій $f_{\Phi}(iter)$ з розподіленням за значеннями ΔE показує, що застосування структурної надлишковості (збільшення кількості ліній затримки) призводить до збільшення кількості ітерацій, при яких отримується енергія помилки, більша ніж встановлена. З урахуванням того, що під ітерацією дослідження розуміється факт ушкодження елемента пам'яті реального пристрою, то можливий перехід від дискретних значень параметру $iter$ до безперервного часу, від $f_{\Phi}(iter)$ до функції $f_{\Phi}(t)$. Для цього апроксимуємо

дискретні функції $f_{\Phi}(iter)$ пуасонівським законом розподілу першого порядку, тоді

$$f_{\Phi}(t) = \lambda_{\Phi} e^{-\lambda_{\Phi} t}, \quad (6)$$

де λ_{Φ} - інтенсивність функціональної відмови, при якому перевищується встановлений рівень E . Зупинка процесу апроксимації відбувалася за умовами максимального збігу значень функцій та відповідності критерію χ^2 . Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.-Результати апроксимації функції $f_{\Phi}(t)$ пуасонівським законом розподілу першого порядку для моделей, які відрізняються кількістю ліній затримок

Одна пара ліній затримки		Дві пари ліній затримки		Три пари ліній затримки	
E	λ_{Φ}	E	λ_{Φ}	E	λ_{Φ}
0	0,5122	0	0,5122	0	0,5122
0,843785	0,5122	1,00373	0,5122	0,224302	0,507
1,68757	0,5122	2,00745	0,5122	0,448605	0,507
2,53135	0,5122	3,01117	0,5122	0,672907	0,507
3,37514	0,5122	4,0149	0,5122	0,89721	0,507
4,21892	0,5122	5,01863	0,5122	1,12151	0,507
5,06271	0,5122	6,02235	0,3823	1,34582	0,4555
5,90649	0,5122	7,02608	0,3431	1,57012	0,4555
6,75028	0,5122	8,0298	0,3431	1,79442	0,4555
7,59406	0,4928	9,03352	0,3431	2,01872	0,4081
8,43785	0,4808	10,0372	0,3431	2,24302	0,3864
9,28163	0,4681	11,041	0,3431	2,46733	0,3864
10,1254	0,4681	12,0447	0,3431	2,69163	0,3864
10,9692	0,4555	13,0484	0,3431	2,91593	0,3864
11,813	0,4555	14,0521	0,3325	3,14023	0,2496
12,6568	0,4555	15,0559	0,3325	3,36454	0,2135
13,5006	0,4555	16,0596	0,3165	3,58884	0,1639
14,3443	0,4555	17,0633	0,3541	3,81314	0,1682
15,1881	0,4555	18,067	0,3719	4,03744	0,1682
16,0319	0,504	19,0708	0,2052	4,26175	0,1682
16,8757	0	20,0745	0	4,48605	0

Аналіз даних, наведених в таблиці 1 показує, що інтенсивність функціональних відмов зменшується при збільшенні припустимої енергії середньоквадратичної помилки вихідної послідовності, а також при застосуванні структурної надлишковості.

Для прикладу, який узагальнює викладене, вирішимо практичну задачу, сформульовану наступним чином. Знайти ймовірність відмови пристрою, який реалізує динамічну нейромережеву модель базового елемента, якщо інтенсивність відмови електронного компонента складає $\lambda = 7 \cdot 10^{-9} (1/\text{год})$ [10], рівень середньоквадратичної помилки не повинен перевищувати $E < 3.0$.

Вирішення. Відповідно виразам (2), (3) отримуємо

$$Q_{II}(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot \lambda_{\Phi} \cdot t}$$

1) Для моделі з однією та двома парами ліній затримки:

$$Q_{II}(t) = 1 - e^{-7 \cdot 10^{-9} \cdot 0.5122 \cdot t},$$

2) з трьома парами ліній затримки:

$$Q_{II}(t) = 1 - e^{-7 \cdot 10^{-9} \cdot 0.3864 \cdot t}.$$

Ймовірність відмови за 10 років ($t = 87600$) для пристрою без урахування функціональності моделі

$Q_{II}(t) = 0,000613$, для першої та другої структур $Q_{II}(t) = 0,000313$, третьої – $Q_{II}(t) = 0,000236$.

Загальні висновки

В роботі наведені результати аналізу залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від складності внутрішньої структури (зокрема від кількості ліній затримки) з урахуванням її реалізації у вигляді мікропроце-

сорного пристрою залізничної автоматики.

Визначено, що ймовірність відмови зменшується при збільшенні припустимого рівня середньоквадратичної енергії помилки та з ускладненням структури нейронної мережі. В роботі наведені розраховані значення інтенсивності відмов для моделей, які відрізняються кількістю ліній затримок, що дозволяє обґрунтувати вибір структури функціональної моделі за характеристиками надійності.

Література

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. – Введ. 09.04.2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 31 с.
3. Кузьменко Д.М., Блиндюк В.С., Чепцов М.М., Нейромережеве моделювання функцій систем залізничної автоматики / Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Випуск 122, – Харків, – 2011, – С. 33-43.
4. Кузьменко Д.М. Метод аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі / Д.М. Кузьменко // Зб. наук. праць ДонІЗТ. Випуск 25, – Донецьк, – 2011, – С. 21-26.
5. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К: Логос, - 2002. – 486 с.
6. Palagin O. Calculating of reliability parameters of microelectronic components and devices by means of virtual laboratory / O.Palagin, P.Stanchev, V.Romanov, K.Markov, I.Galelyuka, V.Velychko, O.Kovyriova, O.Galelyuka, I.Mitov, K.Ivanova // "New trends in information technologies". – Sofia: ITHEA. – 2010. – P. 134–143.

7. Сапожников В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. / В.В.Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шаманов; Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.

8. Чепцов М.М, Бойнік А.Б., Кузьменко Д.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів: Монографія. – Донецьк: “ДонІЗТ”, – 2010. – 181 с.

9. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е.Гурман; [Учеб. Пособие для вузов]. Изд. 7-е. – М.: Высш. шк., – 1999. – 479с.

10. Романов В. Количественная оценка надежности интегральных микросхем с

учетом математической модели отказов. / В. Романов // Электронные компоненты и системы. №4. – К.: – 2005, – С. 5 – 7.

Анотації:

В работе представлен анализ зависимости показателей надежности нейродинамической функциональной модели от сложности внутренней структуры.

У роботі представлений аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від складності внутрішньої структури.

In work presented analysis of reliability factors dynamic neural network function models from the difficulty of internal structure.