

УДК 621.391

Мельник Ю.В., к.т.н., с.н.с.; Кільменінов О.А., к.т.н.; Макаренко А.О., к.т.н.

**МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ****Melnyk Yu.V., Kilmeninov O.A., Makarenko A.O. Model of management of a telecommunication network based on the neural network and evaluation of its functioning.**

The model of management of the TMN telecommunication network on the basis of the neural model is investigated. The general model of the control of the output of which at any time is a nonlinear function of the previous values and of the input and output is considered. The mathematical model of the multilayer neural network for solving the problem of decentralized multiple access control is determined. The considered model serves as the basis for considering the efficiency of TMN functioning under the control of the neural network. Telecommunication Network Management system is complex and hierarchical, that is, multi-level with the corresponding control subsystems. The TMN mathematical model, as a rule, is represented as a system of hierarchical models of the mass service system. The management processes in the communication network are divided into functions of dynamic management of information flows and functions of organizational and technical management of the network. According to the TMN ideology, all functions related to management can be divided into two parts: general and applied. Common functions provide support for applications and include, for example, the movement of information between elements of the communication network and control system, storage, display, sort, search, etc.

**Keywords:** model of control, neural network, efficiency of functioning of telecommunication network

**Мельник Ю.В., Кільменінов О.А., Макаренко А.О. Модель управління телекомунікаційною мережею на основі нейронної мережі та оцінка ефективності її функціонування.**

Досліджено модель управління телекомунікаційною мережею TMN на основі нейронної моделі. Розглянуто загальну модель управління вихід якої в будь-який момент часу є нелінійною функцією попередніх значень і входу і виходу. Визначена математична модель багатопшарової нейронної мережі для вирішення завдання децентралізованого управління множинним доступом. Розглянута модель слугує основою для розгляду ефективності функціонування TMN під управлінням нейронної мережі.

**Ключові слова:** модель управління, нейронна мережа, ефективність функціонування телекомунікаційної мережі

**Мельник Ю.В., Кільменинов А.А., Макаренко А.А. Модель управления телекоммуникационной сетью на основе нейронной сети и оценка эффективности ее функционирования.**

Исследована модель управления телекоммуникационной сетью TMN на основе нейронной модели. Рассмотрена общая модель управления выход которой в любой момент времени является нелинейной функцией предыдущих значений и входа и выхода. Определена математическая модель многослойной нейронной сети для решения задачи децентрализованного управления множественным доступом. Рассматриваемая модель служит основой для рассмотрения эффективности функционирования TMN под управлением нейронной сети.

**Ключевые слова:** модель управления, нейронная сеть, эффективность функционирования телекоммуникационной сети

**Вступ**

В сучасних телекомунікаційних мережах роль керуючої інформації значно зросла. В даний час можна стверджувати, що від якості керуючої інформації залежить функціонування цілих мережевих сегментів. У зв'язку з цим стали розвиватися виділені системи і мережі управління підтримання стану споживчих послуг в телекомунікаційній мережі.

Процеси управління в мережі зв'язку діляться на функції динамічного управління потоками інформації і функції організаційно-технічного управління мережею. Відповідно до ідеології TMN, всі функції, пов'язані з управлінням, можна розбити на дві частини: загальні та прикладні. Загальні функції забезпечують підтримку прикладних і включають, наприклад,

переміщення інформації між елементами мережі зв'язку та системи управління, зберігання інформації, її відображення, сортування, пошук, тощо.

Таким чином, і математичні моделі традиційно поділяються на два вищерозглянутих класу управління. Дані моделі ґрунтуються на аналітичних методах аналізу і методах комп'ютерного моделювання мереж зв'язку. Аналітичні методи пов'язані з використанням теорії черг і систем масового обслуговування, які розглянуті в роботах багатьох вітчизняних і зарубіжних авторів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Система управління телекомунікаційною мережею TMN є складною і ієрархічною, тобто багаторівневою з відповідними підсистемами управління.

Математична модель TMN, зазвичай, представляється у вигляді системи ієрархічних моделей системи масового обслуговування. Дані моделі розроблені і досліджені багатьма авторами.

Розглянемо модель управління телекомунікаційною мережею TMN на основі нейронної моделі.

Еволюція мереж зв'язку з рухомими об'єктами здійснюється в напрямку забезпечення інтегральних послуг, що надаються користувачам. Надання інтегральних послуг для будь-яких користувачів тісно пов'язане з використанням цифрових методів передачі всіх видів інформації, представленої в єдиному пакетному вигляді, і використанням методів множинного доступу (МД).

Високий ступінь використання пропускної здатності каналу при випадковому МД досягається при певному (оптимальному) вхідному навантаженні. В якості керуючого параметру потоків пакетів, що надходять в радіоканал, може використовуватися ймовірність первинної і повторної передачі пакетів в радіоканал. Управління ймовірністю передачі і вибір її оптимального значення дозволяє підтримувати коефіцієнт використання пропускної здатності каналу з МД на майже постійному або близькому до максимально можливого рівня.

У загальному вигляді модель управління множинним доступом може бути описана виразом [1]:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)), \quad (1)$$

де  $u(k)$  - вектор вхідних сигналів,  $x(k+1)$  - вектор вихідних сигналів,  $k = 0, 1, \dots$  - дискретний час.

Окремими випадками уявлення виду (1) є чотири моделі ідентифікації об'єктів управління [2] (об'єкт управління має один вхід і один вихід). Ці моделі можуть бути описані наступними нелінійними різницевиими рівняннями.

Модель 1: вихід невідомого нелінійного об'єкту управління залежить лінійно від його попередніх значень і нелінійно від попередніх значень входу.

$$x(k+1) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x(k-i) + f[u(k), \dots, u(k-m+1)] \quad (2)$$

Модель 2: вихід залежить лінійно від входу і  $k$  його попередніх значень і нелінійно від власних попередніх значень.

$$x(k+1) = f[x(k), x(k-1), \dots, x(k-n+1)] + \sum_{i=0}^{m-1} \beta_i u(k-i) \quad (3)$$

Модель 3: вихід нелінійного об'єкту управління залежить нелінійно як від попередніх значень входу, так і від попередніх значень виходу.

$$x(k+1) = f[x(k), x(k-1), \dots, x(k-n+1)] + g[u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (4)$$

Модель 4: це найзагальніша модель. Вихід в будь-який момент часу є нелінійною функцією попередніх значень і входу і виходу.

$$x(k+1) = f[x(k), x(k-1), \dots, x(k-n+1); u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (5)$$

$$m \leq n$$

де  $[u(k), x(k)]$ - пара значень входу-виходу в момент  $k$ . Функції  $f$  та  $g$  є диференційовними за всіма параметрами.

Схематичне зображення моделі 4 представлено на рис. 1.

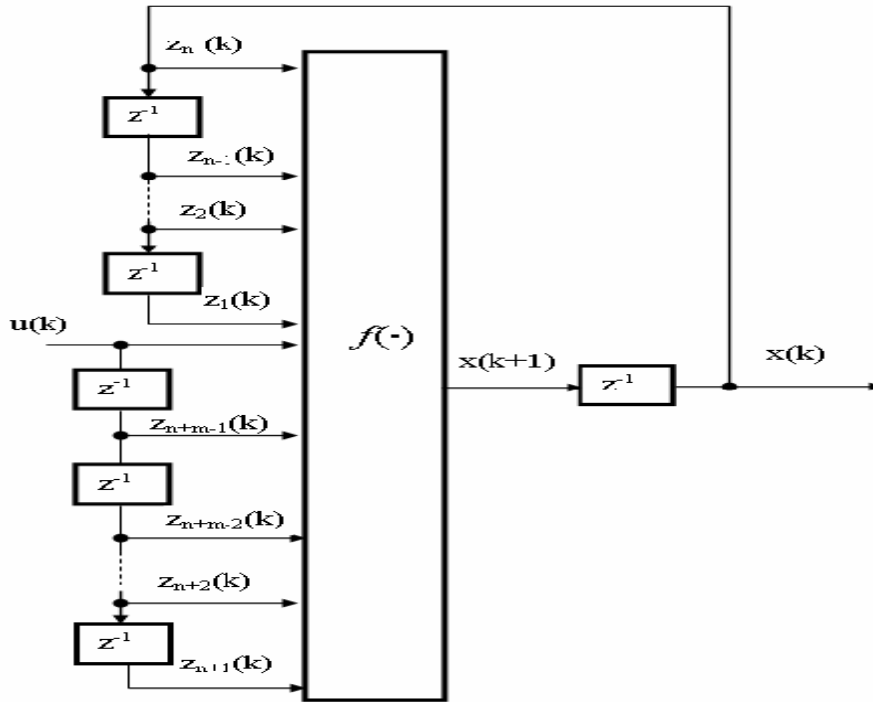


Рис. 1. Графічна реалізація моделі 4

З (2) – (5) випливає, що моделі ідентифікації об'єктів управління в загальному випадку повинні складатися з нейромережових моделей і секціонованих ліній затримки. При цьому нейронна мережа що буде використовуватися (НМ) повинна містити достатню для відповідного нелінійного відображення стану об'єкту управління число шарів і вузлів в кожному шарі.

Щоб правильно ідентифікувати стан об'єкту управління і на основі цього формувати відповідний керуючий вплив, модель ідентифікації повинна вибиратися на основі наявної інформації щодо класу, якому належить даний об'єкт.

При побудові контролеру для управління множинним доступом можуть використовуватися типові варіанти реалізації керуючих контролерів, що містять нейромережові моделі описані в [3]. Нейронна мережа буде однією з основних компонент системи управління. При цьому НМ використовується у вигляді або паралельної, або послідовно-паралельної (рис. 2) моделі. Налаштування ваг НМ (навчання НМ), може розглядатися як процес її адаптації до обраної системи управління.

Математична моделі децентралізованного управління МД має вигляд:

$$x(k+1) = \sum_{i=1}^{N_q} w_i^q f \left[ \sum_{j=1}^{N_{q-1}} w_j^{q-1} \sigma \left[ \dots \varphi \left[ \sum_{p=1}^q w_p^1 x(k-p+1) + \sum_{l=1}^m w_{q+l}^i x(k-l+1) \right] \right] \right] \quad (6)$$

де  $x(\cdot), u(\cdot)$  - відповідно вихідний і вхідний сигнали,  $f(\cdot), \sigma(\cdot), \varphi(\cdot)$  - функції активації,  $z = [y(\cdot), u(\cdot)]^T$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -го нейрону в  $q$ -му шарі.

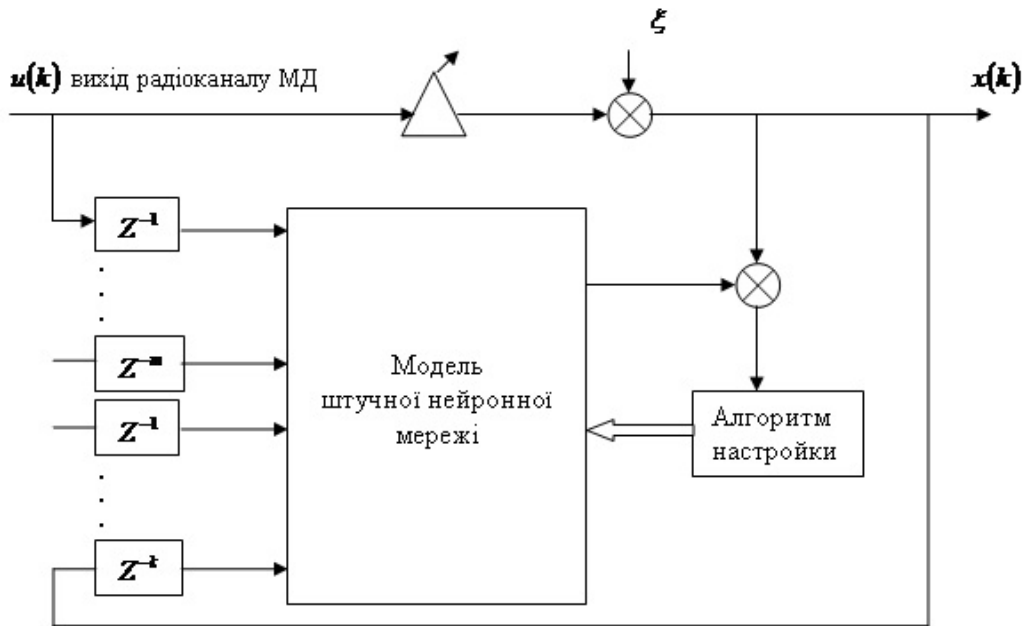


Рис. 2. Узагальнена модель управління множинним доступом

Найбільш часто використовується модель штучної НМ, яка містить крім вхідного і вихідного шарів, один прихований шар. Це штучні НМ з радіально-базисними функціями (РБФ) які володіють достатніми прогностичними властивостями, що дає можливість моделювати системи з глибокою нестабільністю, будувати моделі динаміки нестационарних об'єктів та прогнозувати випадкові процеси. Крім того, для простоти приймається, що всі функції активації мають однаковий вигляд. Для цього випадку рівняння (6) набуває вигляду:

$$x(k+1) = (w^3)^T f \left[ (w^2)^T f \left[ (w^1)^T z(k) \right] \right] \quad (7)$$

де  $z(k) = [x(k), x, \dots, x(k-m+1); u(k), \dots, u(k-m+1)]^T$

Штучні НМ з РБФ є універсальними апроксиматорами, та в силу того, що в них присутній лише один нелінійний прихований шар, та налаштовуються параметри лінійного вихідного шару, для їх навчання можуть використовуватися стандартні процедури, яким притаманна висока швидкодія та фільтруючі засоби, що дуже важливо для задач опрацювання «зашумлених» даних. Для навчання багатозарових НМ навчальна множина має бути представницькою, що гарантує правильну роботу системи ідентифікації навіть у разі надходження на її вхід набору, не віднесеного до навчальної множини.

Найбільш ефективним кількісним методом прогнозування представляється використання штучних НМ з РБФ. Для реальних задач керування телекомунікаційними системами характерна велика кількість факторів впливу, тому було встановлено, що для навчання штучних НМ з РБФ доцільно застосовувати алгоритм багатокрокового навчання, який здатний працювати з великою вибіркою даних і в процесі навчання формувати структуру штучної нейронної мережі радіального типу, яка володіє прогностичними властивостями.

В методах управління з використанням НМ відсутні обмеження на лінійність системи. Вони ефективні в умовах шумів і після закінчення навчання забезпечують управління в реальному масштабі часу. Нейромережеві СУ більш гнучко налаштовуються на реальні умови, утворюючи моделі повністю адекватні поставленому завданню. Крім того, нейромережеві системи керування не тільки реалізують стандартні адаптивні методи управління, а й пропонують свої алгоритмічні підходи до ряду завдань, вирішення яких

викликає утруднення внаслідок неформалізованості. Так з'являється можливість обробки в рамках однієї моделі даних різної природи.

Постає питання оцінювання ефективності функціонування телекомунікаційної мережі (ТКМ) при управлінні нею на основі НМ. Можна стверджувати, що таку ефективність доцільно оцінювати з точки зору процесу застосування і навчання нейромережових засобів [4, 5]. Показники ефективності повинні відображати тривалість, ресурсоемність та точність вказаних процесів. В загальному випадку оцінка ефективності функціонування ТКМ під управлінням НМ показана на рис. 3.

В аналітичному вигляді дану модель оцінки ефективності функціонування ТКМ під управлінням НМ можна відобразити за допомогою наступних виразів:

$$E_{\Sigma} = f(E_{HM3}, E_{HB}) \quad (8)$$

$$E_{HM3} = f(e_1, e_2, e_3) \quad (9)$$

$$E_{HB} = f(e_4, e_5) \quad (10)$$

де  $E_{\Sigma}$  – інтегральна ефективність процесу,  $E_{HM3}$  – ефективність створення та застосування засобів НМ,  $E_{HB}$  – ефективність створення навчальної вибірки,  $e_1$  – визначення ефективних видів нейромережових моделей,  $e_2$  – визначення параметрів нейромережових моделей,  $e_3$  – ресурсоемність застосування засобів НМ,  $e_4$  – визначення параметрів навчальних прикладів,  $e_5$  – формування навчальної вибірки.

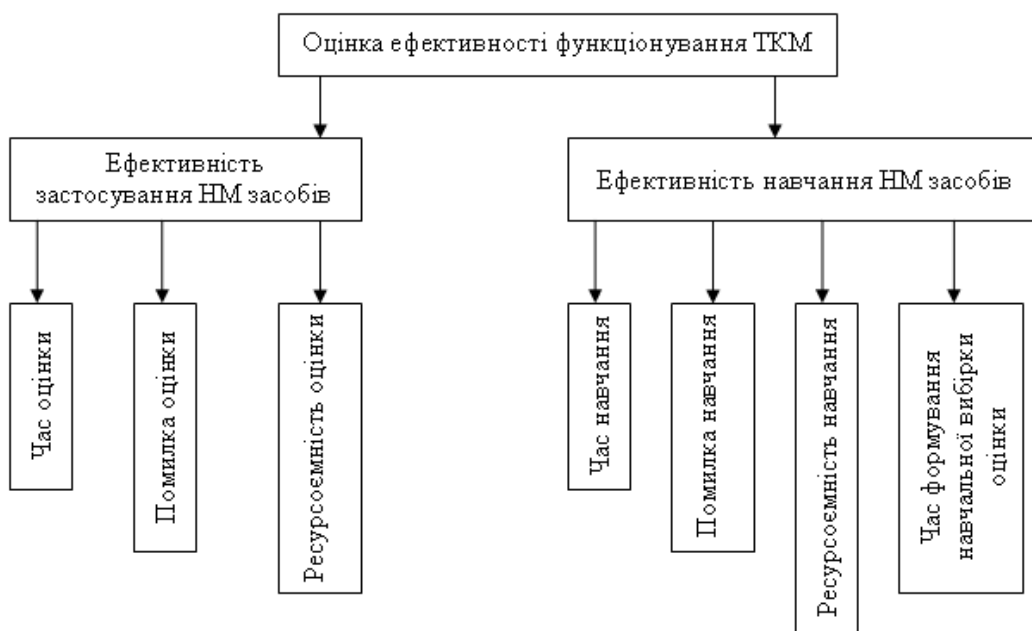


Рис. 3. Оцінка ефективності функціонування ТКМ під управлінням НМ

Таким чином, майбутнє інтелектуального управління лежить в поєднанні традиційного управління з потенційними можливостями і перспективами застосування систем, заснованих на використанні штучних НМ. Однак основним недоліком функціонування нейромережових моделей є необхідність мати дуже великий обсяг навчальної вибірки. Інший істотний недолік полягає в тому, що навіть натренована нейрона мережа представляє собою чорну скриню. Знання, зафіксовані як ваги достатньо великої множини міжнейронних зв'язків, абсолютно не піддаються аналізу і інтерпретації людиною [6]. Отже, тут виникають проблеми неповноти інформації.

**Висновки**

Досліджено модель управління телекомунікаційною мережею TMN на основі нейронної моделі. Розглянуто загальну модель управління вихід якої в будь-який момент часу є нелінійною функцією попередніх значень і входу і виходу. Визначена математична модель багатопарової нейронної мережі для вирішення завдання децентралізованого управління множинним доступом. Розглянута модель слугує основою для розгляду ефективності функціонування TMN під управлінням нейронної мережі.

**Список використаної літератури**

1. Комашинский, В.И. Нейронные сети в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия –Телеком, 2002. – 94с.
2. Neural Networks and Dynamical Systems Kumpati S. Narendra and Kannan Parthasarathy Center for Systems Science, Department of Electrical Engineering, Yale University, New Haven, Connecticut Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888613X9290014Q>
3. Heermann, P.D. Neural Network techniques for stable leaning control of nonlinear systems/ Heermann P.D. – Dissertation D.S. University of Texas at Austin, 1992.
4. Кривуца В.Г. та інші Система управління сучасними телекомунікаційними мережами / Беркман Л.Н., Климаш М.М., Костік Б.Я., Олійник В.Ф., Остапенко І.А., Поповський В.В., Проживальський О.П., Скляренко С.М., Слюсар В.О. К.: Зв'язок, 2009.– 352 с.
5. Хлапонін Ю.І. Методологія підвищення якості функціонування телекомунікаційних мереж на основі інтелектуальних технологій / Ю.І. Хлапонін // Зв'язок. – 2014.– № 3 – С. 78-87.
6. Дюк В.А. Data Mining - интеллектуальный анализ данных / В.А. Дюк. – Режим доступа: <http://www.olap.ru/basic/dm2.asp>

**Автори статті**

**Мельник Юрій Віталійович** – кандидат технічних наук, с.н.с., завідувач кафедри Телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Кільменінов Олексій Анатолійович** – Державний університет телекомунікацій, Київ, Київ, Україна.

**Макаренко Анатолій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Authors of the article**

**Melnyk Yuriy Vitaliyovych** – candidate of science (technic), head of the Department of Telecommunication technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Kilmeninov Olesiy Anatoliyovych** – State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Makarenko Anatoliy Oleksandrovych** – candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of Department of Information and communications technology, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію 26.10.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Трембовецький М.П.