

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-99-104>

УДК 621. 396.62

О. Ю. Мирончук<sup>1</sup>  
 О. О. Шпилька<sup>1</sup>  
 Д. Д. Струков<sup>1</sup>  
 А. А. Петровський<sup>1</sup>  
 А. О. Герасименко<sup>1</sup>

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО КАНАЛУ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ З ТЕХНОЛОГІЄЮ OFDM

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*В умовах розвитку сучасних технологій ключова роль відведена обміну інформацією. Цифрові системи зв'язку є основою інформаційних технологій. Щоби забезпечити потреби сучасної людини вимоги до систем зв'язку постійно збільшуються. Великі інформаційні потоки потребують забезпечення високих швидкостей передачі даних. При цьому важливою задачею є зменшення кількості помилок, які виникають під час передачі даних. В OFDM системах це досягається шляхом підвищення точності оцінювання частотної характеристики каналу зв'язку. В роботі застосовано нейронну мережу прямого поширення для оцінювання значень частотної характеристики каналу зв'язку в OFDM системах. Нейронна мережа проектувалася для умов, коли пілотні сигнали в структурі OFDM символів розміщені по комбінованій схемі. За таких умов нейронна мережа як і вхідну інформацію отримує зашумлені значення частотної характеристики на пілотних підносійних. Її завдання полягає у фільтрації цих значень від шуму та інтерполяції значень частотної характеристики на підносійні з даними. Спроектвана нейронна мережа містить 32 вхідних нейрони, 128 вихідних нейронів і 2 прихованих шари по 8 нейронів. Структура цієї нейронної мережі проектувалася з таким підходом, що вектор частотної характеристики оцінюється послідовно частинами по 128 відліків з подальшим їх об'єднанням. Нейронна мережа навчалася на каналах зв'язку із заданими кореляційними властивостями шляхом застосування методу зворотного поширення помилки. Аналіз ефективності роботи мережі проводився шляхом статистичного моделювання на модельному прикладі в системі автоматизованого проектування Matlab. Результати оцінювання значень частотної характеристики за допомогою нейронної мережі порівняно з результатами, що дають відомі методи. Аналіз ефективності роботи нейронної мережі показав, що вона здатна забезпечувати вигаши до 2 дБ у порівнянні з методом двоетапного оцінювання частотної характеристики на заданому модельному прикладі. Нейронна мережа поступається в точності оцінювання методу мінімуму середньоквадратичної помилки, однак має меншу складність реалізації у порівнянні з ним.*

**Ключові слова:** OFDM, цифровий зв'язок, безпроводний канал зв'язку, багатоприменеве поширення сигналів, частотна характеристика, оцінювання параметрів каналу, нейронна мережа.

### Вступ

Технологія ортогонального частотного мультиплексування (з англ. OFDM — Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) набула широкого застосування в сучасних цифрових системах

зв'язку і є основою для створення перспективних систем зв'язку [1]—[5]. Ця технологія є стійкою до частото-селективних завмирань, дозволяє з великою ефективністю використовувати радіочастотний спектр і забезпечувати високі швидкості передачі даних. Однак при цьому системи OFDM є чутливими до фазового шуму, зміщень частоти і помилок у системі часової синхронізації [6], [7].

Під час проходження через безпровідний канал зв'язку OFDM сигнал зазнає його впливу, зумовленого багатопроменевим характером поширення радіохвиль. Окрім того, що широкосмуговий безпровідний канал зв'язку, зазвичай, є частото-селективним, його характеристики можуть змінюватися в часі під впливом ефекту Доплера у випадку, коли передавач та/або приймач рухаються. Враховуючи вищевказане, для правильної демодуляції OFDM сигналу приймач повинен постійно оцінювати та відслідковувати параметри каналу, і чим точніше оцінка параметрів каналу буде виконана, тим менше виникне помилок при передачі інформації. Ці параметри виражаються комплексними коефіцієнтами передачі кожної підносійної OFDM. Така ж проблема виникає у вузько-смугових каналах зв'язку, для яких розроблені оптимальні алгоритми компенсації частотно-селективних спотворень [8], [9].

*Метою дослідження* є аналіз ефективності застосування нейронної мережі за критерієм середнього квадрату помилки для розв'язання задачі оцінювання частотної характеристики багатопроменевого каналу зв'язку в OFDM системах.

### Результати дослідження

Для оцінювання частотної характеристики каналу зв'язку в структуру OFDM символів закладаються підносійні, на яких передається інформація відома і передавачу і приймачу. Такі підносійні символи називають «підносійними з пілотними сигналами» або «пілотами». В залежності від умов, в яких повинна працювати система зв'язку, пілоти можуть розміщуватися у послідовності OFDM символів за різними схемами. Для подальшого аналізу буде використовуватись комбінована схема розміщення пілотів (рис. 1).

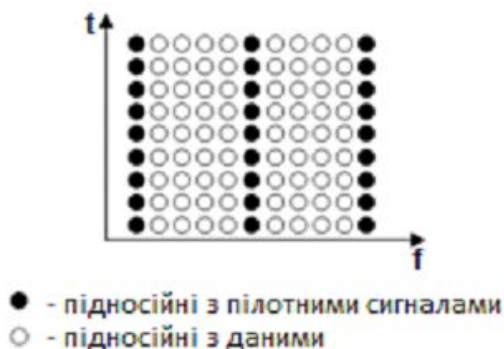


Рис. 1. Комбінована схема розміщення пілотів

Як видно з рис. 1, пілоти розміщені з певним кроком по частоті, тому задача оцінювання частотної характеристики каналу полягає у знаходженні значень частотної характеристики на пілотних підносійних та інтерполяції її значень на підносійні з даними. Така схема розміщення пілотів застосовується в коротких каналах зв'язку, які швидко змінюються в часі. За таких умов оцінювання значень частотної характеристики каналу повинне виконуватись для кожного переданого OFDM символу.

Для оцінювання значень частотної характеристики на пілотних підносійних можуть бути використані метод найменших квадратів (англ. LS — Least Square) та метод мінімуму середньоквадратичної помилки (англ. MMSE —

Minimum Mean Square Error), які детально розглянуті в [10]—[12]. Для інтерполяції значень частотної характеристики на підносійні з даними широко використовується лінійна інтерполяція, поліноміальна інтерполяція та інтерполяція за допомогою фільтра низьких частот [13], [14]. В [15]—[18] розглянуто метод двоетапного оцінювання значень частотної характеристики каналу по поточному прийнятому OFDM символу (з англ. TS — Two Stage), який не потребує додаткового виконання інтерполяції значень частотної характеристики на підносійні з даними, так як це робиться під час його виконання.

Для оцінювання значень частотної характеристики можуть бути застосовані нейронні мережі (англ. NN — Neural Networks) [19]—[22]. Поставлену задачу можна розв'язати за допомогою штучних нейронних мереж таких типів: мережі прямого поширення, мережі з радіально-базисними функціями, імовірнісні мережі, узагальнено-регресійні мережі. В цій роботі застосовано нейронну мережу прямого поширення для оцінювання значень частотної характеристики каналу для комбінованої схеми розміщення пілотних сигналів в послідовності OFDM символів. Аналіз ефективності роботи мережі проводився шляхом статистичного моделювання на модельному прикладі.

Статистичне моделювання проводилося по тисячі реалізацій каналу, кожна з яких використовувала модель з чотирма випадково розміщеними променями і променем із максимальною затримкою сигналу в каналі зв'язку, рівною 10 мкс. Рівень потужності кожного з променів вибирався

випадковим чином. Для кожної реалізації каналу оброблялося 100 OFDM символів. В якості параметрів OFDM сигналу вибрано 1024 підносійні, довжина захисного інтервалу  $\frac{1}{4}$ , частота дискретизації 1 МГц. На інформаційних підносійних передавалися рівномірні символи з сузір'я QPSK. Пілотні сигнали, які також містили символи з сузір'я QPSK, розміщувалися через 4 підносійні.

Прийнятий OFDM символ в частотній області описується таким виразом:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{H} + \mathbf{V}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{Y} = [Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1}]^T$  — вектор прийнятого сигналу;  $\mathbf{X} = \text{diag}(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$  — матриця з переданим сигналом на головній діагоналі;  $\mathbf{H} = [H_0, H_1, \dots, H_{N-1}]^T$  — вектор частотної характеристики каналу;  $\mathbf{V} = [V_0, V_1, \dots, V_{N-1}]^T$  — вектор білого шуму з нульовим математичним очікуванням і дисперсією  $\sigma_v^2$ . Позаяк пілотні сигнали розміщуються не на всіх підносійних OFDM символу, кількість вхідних нейронів мережі буде меншою за кількість вихідних нейронів.

На рис. 2 показано структуру спроектованої нейронної мережі прямого поширення. Як видно зі структури, нейронна мережа містить 32 вхідних нейрони, 128 вихідних нейронів і 2 прихованих шари по 8 нейронів. Ця структура проектувалась з таким підходом, що вектор частотної характеристики, розмірністю в 1024 комплексні відліки, оцінюється послідовно частинами по 128 відліків з подальшим їх об'єднанням. Це зроблено для того, щоб знизити складність реалізації нейронної мережі та зменшити час її навчання.

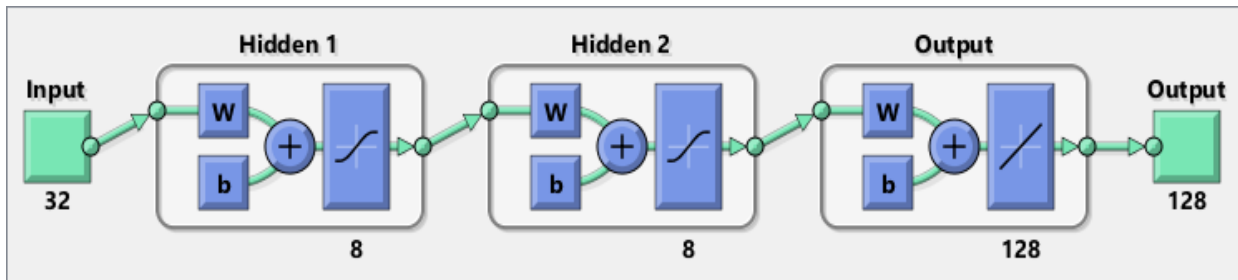


Рис. 2. Структура нейронної мережі прямого поширення

На вхід нейронної мережі подаються значення частотної характеристики, визначені на позиціях пілотних підносійних. Нейронна мережа виконує фільтрацію значень частотної характеристики на підносійних з пілотними сигналами та інтерполює значення частотної характеристики на підносійні з даними. Проектування нейронної мережі виконано у середовищі Matlab за допомогою утиліти Neural Network Toolbox.

Як видно з рис. 2, в структурі шарів є такий елемент як біас (Bias), що позначений квадратом з символом «b». Він являє собою зсув значення нейрону і є дуже критичною частиною будь-якої мережі. Інакше не достатньо просто мати вагу вхідного значення, яка буде якоюсь мірою впливати на подальшу систему, а ще потрібно задавати значення нейрону коли, наприклад, усі нейрони шару дорівнюють 0, що створило б ситуацію, коли у мережі усі нейрони були б рівними 0. Біас призначений вирішувати проблему нульової мережі, додаючи деякі значення до кожного нейрону.

Аналіз точності оцінювання проводився шляхом розрахунку середнього квадрату помилки оцінки значень частотної характеристики каналу (англ. MSE — Mean Square Error). На рис. 3 показано залежність середнього квадрату помилки оцінки від співвідношення сигнал/шум за нульової частоти Доплера. Як видно з графіків, на великих шумах нейронна мережа (NN) дозволяє досягнути виграву до 2 дБ у порівнянні з методом TS, але поступається методу MMSE.

На рис. 4 показано залежність середнього квадрату помилки оцінки від частоти Доплера за фіксованого значення сигнал/шум рівному 25 дБ. Як видно з графіків, зі збільшенням частоти Доплера точність оцінювання усіма розглянутими методами погіршується. При цьому, методи MMSE, TS і NN забезпечують кращу точність оцінювання у порівнянні з методом LS.

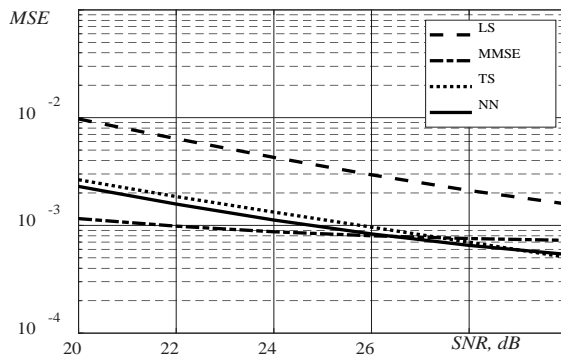


Рис. 3. Залежність MSE від SNR

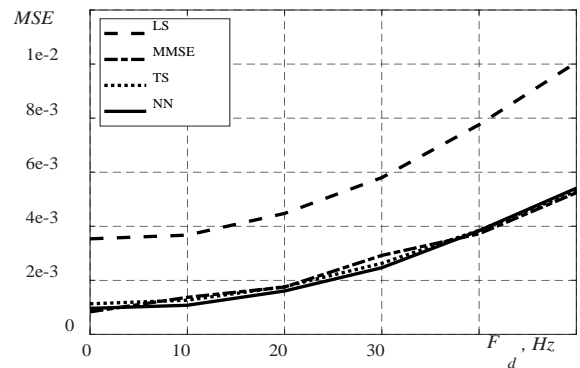


Рис. 4. Залежність MSE від частоти Доплера

## Висновки

Застосовано нейронну мережу прямого поширення для розв'язання задачі оцінювання частотної характеристики каналу в OFDM системах. Проаналізовано ефективність роботи спроектованої мережі. Результат аналізу показав, що нейронна мережа дозволяє досягнути виграшу до 2 дБ у порівнянні з методом TS, але поступається методу MMSE за великих шумів. При цьому слід зауважити, що MMSE потребує вищих обчислювальних затрат. До недоліків нейронної мережі необхідно віднести те, що вона навчається на каналах із заданими кореляційними властивостями. Якщо кореляційні властивості каналу, частотна характеристика якого оцінюється, зміняться і нейронна мережа не буде навчена на роботу з таким каналом, то ефективність її роботи знизиться.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Hermann Rohling, *OFDM Concepts of Future Communication Systems*, Springer, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17496-42>.
- [2] S. I. Piltyay, A. V. Bulashenko, and I. V. Demchenko, "Wireless sensor network connectivity in heterogeneous 5G mobile systems," *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology*, Kharkiv, Ukraine, October 2020, pp. 625-630. <http://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9468073>.
- [3] S. Piltyay, et al., "Numerical performance of FEM and FDTD Methods for the simulation of waveguide polarizers," *Visnyk NTUU KPI Seriya — Radiotekhnika Radioaparobuduvannia*, vol. 84, pp. 11-21. March 2021. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2021.84.11-21>.
- [4] A. V. Bulashenko, S. I. Piltyay, and I. V. Demchenko, "Wave matrix technique for waveguide iris polarizers simulation. Numerical results," *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 13, no. 3, pp. 03023-1-03023-5, 2021. [https://doi.org/10.21272/jnep.3\(3\).03023](https://doi.org/10.21272/jnep.3(3).03023).
- [5] S. I. Piltyay, et al., "High performance waveguide polarizer for satellite information systems," *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*, no. 4, pp. 14-26, 2020. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.4.2020.217129>.
- [6] В. В. Котляров, О. Ю. Мирончук, и О. О. Шпилька, «Математичний опис та формалізація типів спотворень у цифровому каналі зв'язку з OFDM-сигналами», *Вісник НТУУ "КПІ". Серія – Радіотехніка, Радіоапаробудування*, № 66, с. 10-18, 2016. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2016.66.10-18>.
- [7] John G. Proakis, *Digital Communications*, 5th ed., McGraw-Hill Higher Education 2008.
- [8] А. А. Шпилька, и С. Я. Жук, «Совместная интерполяция данных и фильтрация параметров многолучевого канала связи», *Известия вузов. Радиоэлектроника*, тл. 53, № 1, с. 26-30, 2010. <https://doi.org/10.20535/s0021347010010048>.
- [9] А. А. Шпилька, и С. Я. Жук, «Совместное оценивание данных и параметров многолучевого канала связи. Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2009)», *материалы 5-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф.* Севастопольский нац. технический ун-т, 20-25 апреля 2009 г. Севастополь: Вебер, 2009, 351 с.
- [10] J.-J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. Wilson, and P. Borjesson, "On channel estimation in OFDM systems," in *IEEE 45th Vehicular Technology Conference. Countdown to the Wireless Twenty-First Century*, Chicago, 1995, vol. 2, pp. 815-819. <https://doi.org/10.1109/VETEC.1995.504981>.
- [11] O. Edfors, M. Sandell, J.-J. van de Beek, S. K. Wilson, and P. O. Brjesson, "OFDM channel estimation by singular value decomposition," *IEEE Trans. On Communications*, 1998, July, vol. 46, no. 7, pp. 931-939. <https://doi.org/10.1109/VETEC.1996.501446>.
- [12] Srishtansh Pathak, and Himanshu Sharma, "Channel Estimation in OFDM Systems," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 3, Issue 3, March 2013.
- [13] Tzi-Dar Chiueh, Pei-Yun Tsai, and I-Wei Lai, *Baseband Receiver Design for Wireless MIMO-OFDM Communications Second Edition*, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. 2012.
- [14] Y. Shen, and E. Martinez, "Channel estimation in ofdm systems" in *Frescale Semiconductor Application Note*, 2006.
- [15] А. Ю. Мирончук, О. О. Шпилька, и С. Я. Жук, «Метод оценивания частотной характеристики канала а OFDM системах на основе фильтрации и экстраполяции пилот-сигналов», *Вісник НТУУ«КПІ». Серія – Радіотехніка, Радіоапаробудування*, № 78, с. 36-42, 2019. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.78.36-42>.

[16] А. Ю. Мирончук, А. А. Шпилька, и С. Я. Жук, «Метод двухэтапного совместного оценивания информационных символов и частотной характеристики канала в системах связи с OFDM,» *Известия вузов, Радиоэлектроника*, vol. 63, no. 8, pp. 497-508, 2020, <https://doi.org/10.20535/S002134702008004X>.

[17] O. Myronchuk, O. Shpylka, and S. Zhuk, "Algorithm of channel frequency response estimation in orthogonal frequency division multiplexing systems based on Kalman filter," in *IEEE 15th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*. Lviv-Slavske, 2020. <https://doi.org/1109/TCSET49122.2020.235385>.

[18] О. Ю. Мирончук, и О. О. Шпилька, «Модель Джейкса для спектральной густини потужності і Допплерівського спектру процесу завмирання,» на *Міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи»*, Київ, 28-24 листопада 2019 р., НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2019.

[19] M. M. A. Moustafa and S. H. A. El-Ramly, "Channel estimation and equalization using backpropagation neural networks in OFDM systems," in *2009 IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks*, 2009, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/WOCN.2009.5010528>.

[20] Ş. Şimşir, and N. Taşpınar, "Channel estimation using neural network in Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Interleave Division Multiple Access (OFDM-IDMA) system," in *2014 International Telecommunications Symposium (ITS)*, 2014, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ITS.2014.6947977>.

[21] CH. Cheng, YH. Huang, and HC. Chen, "Channel estimation in OFDM systems using neural network technology combined with a genetic algorithm," *Soft Comput.*, 20, 4139-4148, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00500-015-1749-7>.

[22] D. D. Strukov, and O. Y. Myronchuk, "Application of neural networks for solving interpolation tasks," *Polit. Callanges of science today. International relations : abstracts of XXI International conference of higher education students and young scientists*, National aviation university, Kyiv, 2021. pp. 18-19.

Рекомендована кафедрою радіотехніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 23.07.2021

**Мирончук Олександр Юрійович** — PhD, асистент кафедри радіотехнічних систем, e-mail: myronchukalex@gmail.com ;

**Шпилька Олександр Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехнічних систем, e-mail: shpylka@rtf.kpi.ua ;

**Струков Демід Денисович** — студент радіотехнічного факультету, e-mail: demidmid1@gmail.com ;

**Петровський Анорій Анатолійович** — аспірант кафедри радіотехнічних систем, e-mail: a.petrovskyj@kpi.ua ;

**Герасименко Андрій Олегович** — аспірант кафедри радіотехнічних систем, e-mail: gerasimko@gmail.com .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

**O. Yu. Myronchuk<sup>1</sup>**  
**O. O. Shpylka<sup>1</sup>**  
**D. D. Strukov<sup>1</sup>**  
**A. A. Petrovskyi<sup>1</sup>**  
**A. O. Herasymenko<sup>1</sup>**

## Application of a Neural Network for Estimating the Frequency Response of a Multipath Channel in Communication Systems with OFDM Technology

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

*In the context of the development of modern technologies, the key role is assigned to the exchange of information. Digital communication systems are at the heart of information technology. To meet the needs of a modern person the requirements for communication systems are constantly increasing. Large information flows require high data rates. At the same time an important task is to reduce the number of errors that occur during data transmission. In OFDM systems, this is achieved by increasing the accuracy of estimating the frequency response of the communication channel. In this paper a neural network of direct propagation is used to estimate the values of the frequency response of the communication channel in OFDM systems. The neural network was designed for conditions when the pilot signals in the OFDM symbol structure are arranged in a combined pattern. Under such conditions the neural network receives noisy values of the frequency response on the pilot subcarriers as input information. Its task is to filter these values from noise and interpolate the values of the frequency response to the data subcarriers. The designed neural network has 32 incoming neurons, 128 outgoing neurons and 2 hidden layers of 8 neurons each. The structure of this neural network was designed with such an approach that the vector of the frequency response of the channel is estimated sequentially by 128 samples with their further combining. The neural network was trained on communication channels with given correlation properties by applying the error backpropagation method. The analysis of the efficiency of the network was carried out by means of statistical modeling using a model example in the Matlab computer-aided design system. The results of estimating the values of the frequency response using a neural network are compared with the results that are given by known methods. The analysis of the efficiency of the neural network showed*

that it is capable of providing a gain of up to 2 dB in comparison with the method of two-stage estimation of the frequency response estimation for a given model example. The neural network is inferior in the estimation accuracy to the minimum mean square error method, however, it has a lower implementation complexity compared to it.

**Keywords:** OFDM, digital communication, wireless channel, multipath signal propagation, channel frequency response, channel estimation, neural network.

**Myronchuk Oleksandr Yu.** — PhD, Assistant Lecturer of the Chair of Radioengineering Systems, e-mail: myronchukalex@gmail.com ;

**Shpylka Oleksandr O.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Radioengineering Systems, e-mail: shpylka@rtf.kpi.ua ;

**Strukov Demid D.** — Student of the Department of Radioengineering, e-mail: demidmid1@gmail.com ;

**Petrovskiy Andrii A.** — Post-Graduate Student of the Chair of Radioengineering Systems, e-mail: a.petrovskiy@kpi.ua ;

**Herasymenko Andrii O.** — Post-Graduate Student of the Chair of Radioengineering Systems, e-mail: gerasmnko@gmail.com

**А. Ю. Мирончук<sup>1</sup>**  
**А. А. Шпилька<sup>1</sup>**  
**Д. Д. Струков<sup>1</sup>**  
**А. А. Петровский<sup>1</sup>**  
**А. О. Герасименко<sup>1</sup>**

## Применение нейронной сети для оценивания частотной характеристики многолучевого канала в системах связи с технологией OFDM

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игора Сикорского»

*В условиях развития современных технологий ключевая роль отводится обмену информацией. Цифровые системы связи лежат в основе информационных технологий. Чтобы обеспечить нужды современного человека требования к системам связи постоянно увеличиваются. Большие информационные потоки требуют обеспечения высоких скоростей передачи данных. При этом важной задачей является уменьшение количества ошибок, возникающих во время передачи данных. В OFDM системах это достигается путем увеличения точности оценивания частотной характеристики канала связи. В работе применено нейронную сеть прямого распространения для оценки значений частотной характеристики канала связи в OFDM системах. Нейронная сеть проектировалась для условий, когда пилотные сигналы в структуре OFDM символов расположены по комбинированной схеме. При таких условиях нейронная сеть в качестве входящей информации получает зашумленные значения частотной характеристики на пилотных поднесущих. Ее задача заключается в фильтрации этих значений от шума и интерполяции значений частотной характеристики на поднесущие с данными. Спроектированная нейронная сеть имеет 32 входящих нейрона, 128 выходящих нейронов и 2 скрытых слоя по 8 нейронов в каждом. Структура этой нейронной сети проектировалась с таким подходом, что вектор частотной характеристики канала оценивается последовательно по 128 отсчетов с дальнейшим их объединением. Нейронная сеть обучалась на каналах связи с заданными корреляционными свойствами путем применения метода обратного распространения ошибки. Анализ эффективности работы нейронной сети проводился путем статистического моделирования на модельном примере в системе автоматизированного проектирования Matlab. Результаты оценивания значений частотной характеристики с помощью нейронной сети сравнивались с результатами, которые дают известные методы. Анализ эффективности работы нейронной сети показал, что она способна обеспечивать выигрыш до 2 дБ по сравнению с методом двухэтапного оценивания частотной характеристики на заданном модельном примере. Нейронная сеть уступает по точности оценки методу минимума среднеквадратической шибки, однако имеет меньшую сложность реализации по сравнению с ним.*

**Ключевые слова:** OFDM, цифровая связь, беспроводной канал связи, многолучевое распространение сигналов, частотная характеристика, оценивание параметров канала, нейронная сеть.

**Мирончук Александр Юрьевич** — PhD, ассистент кафедры радиотехнических систем, e-mail: myronchukalex@gmail.com ;

**Шпилька Александр Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры радиотехнических систем, e-mail: shpylka@rtf.kpi.ua ;

**Струков Демид Денисович** — студент радиотехнического факультета, e-mail: demidmid1@gmail.com ;

**Петровский Андрей Анатольевич** — аспирант кафедры радиотехнических систем, e-mail: a.petrovskiy@kpi.ua ;

**Герасименко Андрей Олегович** — аспирант кафедры радиотехнических систем, e-mail: gerasmnko@gmail.com