

УДК 004:728+827

**Гончаренко Тетяна Андріївна**Старший викладач кафедри інформаційних технологій, [orcid.org/0000-0003-2577-6916](https://orcid.org/0000-0003-2577-6916)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА

**Анотація.** Розглянуто загальне поняття штучних нейронних мереж, описано можливість їх застосування для моделювання рельєфу місцевості під об'єкт будівництва. Запропоновано модель організації нейронної мережі з використанням радіально-базисної функції для обробки просторових даних. Досліджено технологію навчання такої нейронної мережі з використанням синаптичних ваг. На основі цього аналізу запропоновано нейромережевий алгоритм для побудови цифрової моделі рельєфу будівельного майданчика та виявлено його переваги порівняно з іншими традиційними алгоритмами.

**Ключові слова:** штучні нейронні мережі; цифрова модель рельєфу; радіально-базисна функція; ЦММ

### Актуальність та аналіз проблеми

Створення цифрової моделі місцевості (ЦММ), на якій буде розташований майбутній об'єкт будівництва, – процес складний, творчий і неоднозначний. Досить важко придумати такий алгоритм, який буде здатний зробити вибір на користь оптимального варіанта поведінки ЦММ з усіх можливих на кожному кроці створення моделі. Програмний комплекс, призначений для створення ЦММ, повинен думати як людина. Іншими словами, діяльність обчислювальної машини необхідно уподібнити процесам, що відбуваються в головному мозку людини, які обумовлені діяльністю нейронів.

### Мета статті

Мета статті – проаналізувати структуру штучних нейронних мереж та розглянути можливість їх застосування для моделювання рельєфу будівельного майданчика за допомогою радіально-базисної функції.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо структуру біологічного нейрону. На рис. 1 наведені основні його складові.

Дендрити йдуть від тіла нервової клітини до інших нейронів, де вони приймають сигнали в точках з'єднання, які називаються синапсами. Прийняті синапсом вхідні сигнали підводяться до тіла нейрона. Тут вони підсумовуються, причому одні входи прагнуть порушити нейрон, інші – перешкодити його порушенню. Коли сумарне збудження в тілі нейрона

перевищує деякий поріг, нейрон збуджується, посилаючи по аксону сигнал іншим нейронам. У цієї основної функціональної схеми багато ускладнень і винятків, тим не менше, більшість штучних нейронних мереж моделюють лише ці прості властивості. На рис. 2 наведена схема біологічної нейронної мережі.

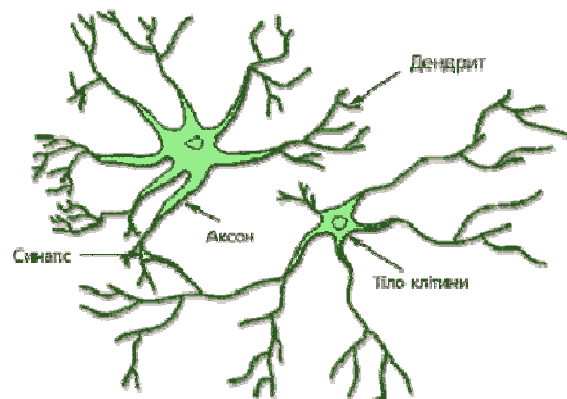


Рисунок 1 – Біологічний нейрон

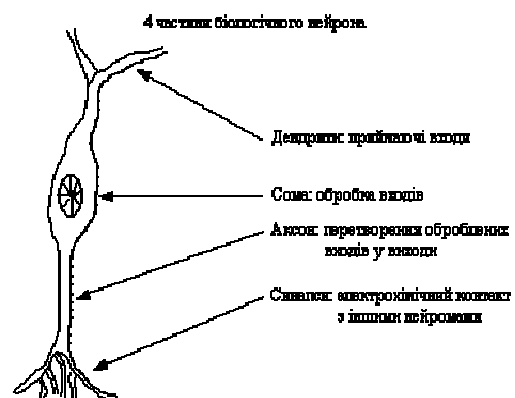


Рисунок 2 – Схема біологічної нейронної мережі

Одне із застосувань нейронних мереж – апроксимація неперервних функцій. При цьому нелінійна характеристика нейрона може бути скільки завгодно складною. З одного боку це ускладнює мережу, а з іншого зберігає точність апроксимації. Це і дозволяє використовувати штучні нейронні мережі для математичного моделювання рельєфу місцевості. Штучні нейронні мережі являють собою сукупність типових елементів – штучних нейронів, подібних нейронам головного мозку. Їх структура може бути різною, але в загальному випадку вона зводиться до моделі штучного нейрона, яка показана на рис. 3.

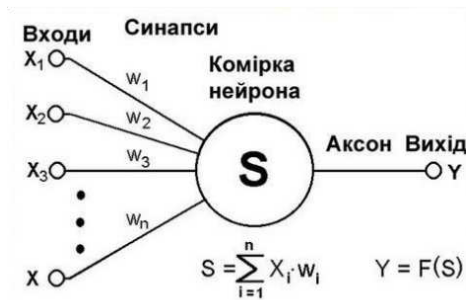


Рисунок 3 – Схема штучного нейрона

Вхідні сигнали ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ) для створення моделі рельєфу являють собою просторові координати  $x, y$  і  $z$ , які є точками поверхні. Вони синапсами з'єднані з ядром. Кожний синапс має вагу ( $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ), що визначає ступінь впливу входу нейрона на його стан. Аксон пов'язує нейрон з нейроном наступного шару. Штучний нейрон має комунікації з іншими нейронами через синапси, які передають сигнали від інших нейронів до даного (дендрити) або від даного нейрона до інших (аксон). Крім того, нейрон може бути пов'язаний сам із собою.

Створення моделі рельєфу місцевості стикається із таким завданням підбору функції двох змінних  $f(x, y)$ , щоб для заданої множини точок виконувалась рівність  $z_i = f(x_i, y_i)$ . Таким чином, відповідно до теореми Колмогорова [2]:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \omega_i \varphi(x, y, c_i^x, c_i^y), \quad (1)$$

де  $\omega_i, c_i^x, c_i^y$  – константи;  $\varphi$  – радіально-базисна функція.

Радіально-базисна функція (РБФ) – це функція, що залежить тільки від відстані між шуканою вхідною точкою і фіксованою точкою простору. На рис. 4 показана нейронна мережа РБФ.

РБФ є точними інтерполляторами, тому широко використовуються для вирішення завдань багатовимірної апроксимації точок моделі рельєфу.

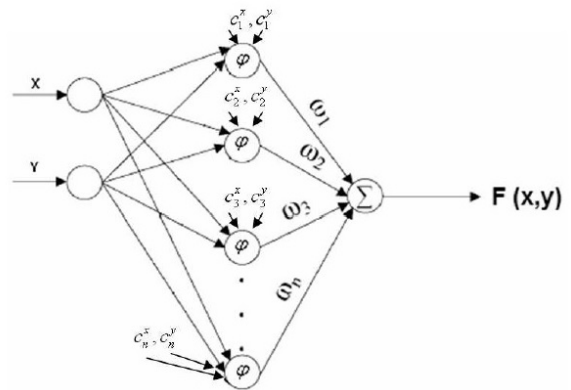


Рисунок 4 – Нейронна мережа радіально-базисної функції

Ця задача реалізується за допомогою нейронної мережі, що складається з прихованого нелінійного прошарку і вихідного лінійного прошарку, який передає зважену суму виходів нейронів вхідного прошарку. Навчання такої нейронної мережі зводиться до знаходження передаточних коефіцієнтів від нейронів прихованого прошарку до нейронів вихідного прошарку. Схема організації такої мережі зображена на рис. 5.

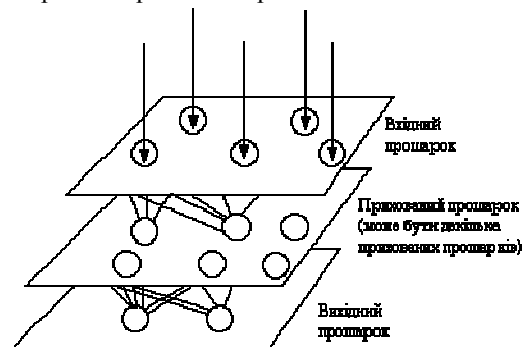


Рисунок 5 – Схема організації нейронної мережі

Описати процес навчання такої нейронної мережі можна таким алгоритмом:

1. Вибрати нейрони у прихованому прошарку, їх кількість повинна відповідати числу точок на вхідному прошарку;
2. Для кожного нейрона задати коефіцієнти радіально-базисної функції, які дорівнюють координатам вхідних точок у плані  $c_i^x = x_i, c_i^y = y_i$ ;
3. Визначити передатні коефіцієнти від нейронів прихованого прошарку до нейрона вихідного прошарку. Для цього пред'явити мережі весь набір вхідних даних і отримати відповідний набір вихідних даних.

$$D_i = w_1 f(x_i, y_i, c_1^x, c_1^y) + w_2 f(x_i, y_i, c_2^x, c_2^y) + \dots + w_n f(x_i, y_i, c_n^x, c_n^y). \quad (2)$$

Розпишемо це рівняння для кожного із входів і виходів мережі та отримаємо рівняння в матричній формі:

$$\Phi W^T = D, \quad (3)$$

де  $\Phi = \begin{pmatrix} f_{11} \dots f_{1n} \\ f_{21} \dots f_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ f_{n1} \dots f_{nn} \end{pmatrix}$  – інтерполяційна матриця

$$f_{ij} = f(x_i, y_i, c_j^x, c_j^y);$$

$\omega = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_n \end{pmatrix}$  – матриця шуканих синаптичних ваг;

$D = \begin{pmatrix} D_1 \\ \dots \\ D_n \end{pmatrix}$  – матриця вихідних значень мережі.

Із рівняння (3) випливає, що для обчислення значення шуканих синаптичних ваг, треба розв'язати дане матричне рівняння:

$$w^T = \Phi^{-1}D. \quad (4)$$

Детальний аналіз робіт дозволяє провести порівняння різних методів представлення просторових даних та зробити висновки про переваги та недоліки нейромережевого підходу у порівнянні з іншими технологіями для моделювання рельєфу.

1. Дані представляються в безперервному вигляді та закодовані значеннями вагових коефіцієнтів нейронів. Для створення якісної моделі поверхні важливо отримувати інформацію про рельєф у будь-якій точці. Навіть якщо такі дані не були представлені в початковій вибірці, для них автоматично виконується інтерполяція. Ця властивість є однією з головних переваг застосування нейромережевих технологій.

2. В мережі одночасно відбуваються процеси запам'ятовування та узагальнення даних. З цим пов'язана можливість подальшого вилучення знань з даних. З одного боку, це велика перевага нейромережевого підходу, а з іншого – виникає залежність структури нейронної мережі від самих даних. Так, наприклад, якщо дані повністю випадкові, то нейронна мережа не може вивести загальні закономірності, оскільки їх немає, і тоді буде запам'ятовувати інформацію. Проте запам'ятовування не потребує великої кількості обчислювальних ресурсів.

3. Нейронна мережа навчається на даних. Наявність процесу навчання надає переваги нейромережевому підходу у разі, коли треба не тільки зберігати дані, але й використовувати їх для отримання знань та виявлення зв'язків. При іншому підході, залежно від початкових даних, може

виникнути така ситуація, коли нейронна мережа не навчиться до заданої якості. І хоч теорія говорить про те, що нейронна мережа може апроксимувати будь-яку неперервну функцію з необхідною точністю, на практиці для цього можуть знадобитися досить потужні обчислювальні ресурси. Тому нейромережевий підхід треба застосовувати не сам по собі, а в комбінації з іншими підходами для таких даних, для яких переваги перевищують недоліки.

4. Зазвичай нейромережеві алгоритми складаються з двох процесів – навчання та безпосереднього застосування вже навченої нейронної мережі (симуляція). Процес симуляції є швидким. В силу початкової паралельності цей процес може бути відносно легко поділений на безліч паралельних апаратних прискорювачів, наприклад графічних процесорів. Це дає великий стрибок у підвищенні продуктивності системи, заснованої на нейромережевій технології організації даних. Процес навчання – навпаки, набагато повільніший, ніж симуляція. Найчастіше він потребує високих розрахункових витрат. Ось чому слід розносити ці два процеси на різні обчислювальні системи. З цього випливає, що нейромережевий підхід в організації даних слід використовувати для тих даних, які часто використовуються, але рідко оновлюються.

5. Оскільки нейронна мережа виконує узагальнення даних, вона здатна нівелювати можливі помилки в них. Так, наявність шумів або пропусків в даних враховується автоматично в процесі навчання.

Така властивість є як великою перевагою нейромережевого підходу, коли вхідні дані мають помилки, так і недоліком, коли потрібно точне запам'ятовування інформації.

Таким чином, нейромережевий підхід організації просторових даних має право на існування, але може бути застосований з урахуванням певних обмежень. Тому в реальній ситуації для створення цифрової моделі рельєфу будівельного майданчика нейромережева технологія може бути однією із багатьох, а вже вибір конкретного методу організації даних повинен визначатися властивостями самих даних та задачами щодо їх обробки (рис. 6).

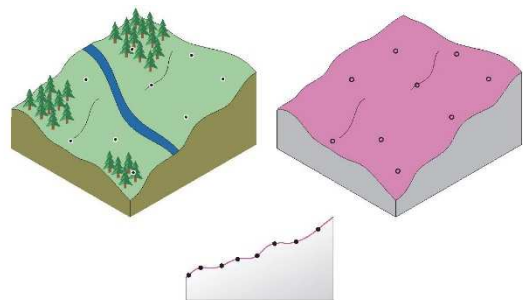


Рисунок 6 – Модель рельєфу, побудована з використанням РБФ нейронної мережі

## Висновки

Штучні нейронні мережі навчаються. Це є їх головною перевагою над традиційними алгоритмами. Вони здатні знаходити коефіцієнти зв'язків між нейронами, узагальнювати вхідні і вихідні дані, що означає гарантію отримання вірних результатів на підставі тих даних, які були відсутні в

навчальній вибірці, а також частково перекручених даних або помилкових. При неможливості отримання достатньої кількості вхідних даних, їх високою зашумленістю, неповноту і суперечливістю, нейронні моделі виявляються кращими. Нейронна мережа виявляється вибірково чутливою в областях скупчення даних, і дає гладку інтерполяцію в інших областях.

## Список літератури

1. Руденко, О. Г. Штучні нейронні мережі [Текст]: навч. посібник / О. Г. Руденко, Є. В. Бодянский. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
2. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., А.Н. Кирдин А.Н. и др. Нейроинформатика –Новосибирск : Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.
3. Bavarian, B. Introduction to neural networks for intelligent control [Електрон. ресурс] / B. Bavarian // Control Systems Magazine, IEEE. – 1988. – № 6(2). – P. 3-7. – Режим доступа – <http://ieeecs.org/CSM/library/1988/april1988/w03-07.pdf>
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
5. Гайна Г.А. Вибір території під багатоквартирний будинок з позиції системологічного підходу [Текст] / Г.А.Гайна, А.В. Ерукаев, Т.А. Гончаренко // Управління розвитком складних систем. – 2016. – №27. – С. 106 – 111.
6. Гайна Г.А. Нечіткий стратегічний підхід до вибору найвпливовіших факторів в житловому будівництві [Текст] / Г.А.Гайна, Т.А. Гончаренко, А.В. Ерукаев // Управління розвитком складних систем. – 2016. – №25. – С. 96 – 102.
7. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
8. Бодянский, Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст]: монография / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков: Телетех, 2004. – 369 с.
9. Филиппенко, О. И. Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Ч. 2. Искусственные нейронные сети [Текст] / О. И. Филиппенко, И. Г. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/2(15). – С. 87-93.
10. Доценко, Ю. В. Розробка математичної моделі оптимального використання технічних засобів залізниці на основі теорії нейронних мереж [Текст] / Ю.В. Доценко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 6/2(18). – С. 37-39.
11. Каньовська, Д. В. Формування автоматизованої технології управління місцевою роботою на основі використання автономних модульних поїздів [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Каньовська Дарина Василівна; Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків, 2013. – 21 с.
12. Razavi, S.V. Using feed-forward back propagation (FFBP) neural networks for compressive strength prediction of lightweight concrete made with different percentage of scoria instead of sand [Електрон. ресурс] / S.V. Razavi, M.Z. Jumaat, A.H. EiShafie // International Journal of Physical Sciences. – 2011. – № 6 (6). – P. 1325-1331. – Режим доступа – <https://www.google.com/url?q=http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text>

Стаття надійшла до редколегії 06.02.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

### Гончаренко Татьяна Андреевна

Старший преподаватель кафедры информационных технологий, [orcid.org/0000-0003-2577-6916](http://orcid.org/0000-0003-2577-6916)  
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

**Аннотация.** Рассмотрено общее понятие искусственных нейронных сетей, описана возможность их применения для моделирования рельефа строительной площадки. Предложена модель организации нейронной сети с использованием радиально-базисной функции для обработки пространственных данных. Исследована технология обучения такой нейронной сети с использованием синаптических весов. На основании этого анализа предложен нейросетевой алгоритм построения цифровой модели рельефа и выявлены его преимущества по сравнению с традиционными алгоритмами.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети; цифровая модель рельефа; радиально-базисная функция; ЦММ

**Honcharenko Tetyana Andriyivna**

Senior Lecturer, Department of Information Technology, [orcid.org/0000-0003-2577-6916](https://orcid.org/0000-0003-2577-6916)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

#### APPLICATION OF TECHNOLOGY OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MODELING LAND RELIEF OF CONSTRUCTION SITE

**Annotation.** The article considers the general concept of artificial neural networks, describes their applicability for modeling land relief of construction site. Creation of digital terrain models (DTM), which will be located new construction project, is challenging, creative and controversial process. Finding the optimal solution for this task can be likened to the processes that occur in the human brain, which are caused by neuronal activity. The model of organization of neural networks is proposed using radial basis functions for processing of spatial data. The points of the land relief with coordinates in plan (x,y) will be input signals for the neural network. The z-coordinate of the current point elevation will be interpolated. Such elevation points will be output signals for neural network. The technology of training neural network is researched using the synaptic weights. Based on this analysis neural network's algorithm is proposed for digital land relief model and revealed its advantages in comparison with traditional algorithms.

**Keywords:** artificial neural networks; modeling land relief; construction site; radial basic function

#### References

1. Rudenko, A.G. & Bodyansky, Is.V. (2006). Artificial neural networks [Text]: textbook. Manual. Kharkov: "the SMITH Company", 404.
2. Gorban, A.N., Dunin-Barkowski, W.L., Kirdin, A.N. and others. (1998). Neuroinformatics. Novosibirsk : Nauka. Siberian enterprise of RAS, 296.
3. Bavarian, B. (1988). Introduction to neural networks for intelligent control [Electron. resource]. Control Systems Magazine, IEEE, 6(2, 3-7. – Mode of access – <http://ieeecs.org/CSM/library/1988/april1988/w03-07.pdf>
4. Haykin, S. (2006). Neural networks: full course [Text]. Moscow: Publishing house "vil'yams", 1104.
5. Haina, H.A., Yerukaiev, A.V. & Honcharenko, T.A. (2016). The choice of site for an apartment building from a position of systemological approach. Management of Development of Complex Systems, 27, 106-111. [in Ukrainian].
6. Haina, H.A., Honcharenko, T.A. & Yerukaiev, A.V. (2016). Fuzzy strategic approach of selecting the most influential factors in residential construction. Management of Development of Complex Systems, 25, 96–102.
7. Rutkowski, D. & Pilinski, L. & Rutkowskaya, N. (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems [Text]. TRANS. with Pol. S. D. Rudinsky. Moscow: Hot line – the Telecom, 452.
8. Bodyansky, E.V. & Rudenko, A.G. (2004). Artificial neural network: architecture, learning, application [Text]: monograph. Kharkov: Teletech, 369.
9. Filippenko, A.S. & Filipenko, S.G. (2005). Biological, artificial and nanoautomation sets – a comparative analysis. Part 2. Artificial neural networks [Text]. East European journal of advanced technologies, 3/2(15), 87-93.
10. Dotsenko, Yu.V. (2005). Development of a mathematical model of the optimal use of technical means of railway on the basis of the theory of neural networks [Text]. East European journal of advanced technologies, 6/2(18), 37-39.
11. Kaniewska, D.V. (2013). The Formation of automated management technologies for local work based on the use of the Autonomous modular trains [Text]: PhD Thesis, Sciences: 05.22.01. Rus. GOS. Akad. well.d. Tr. Kharkiv, 21
12. Razavi, S.V. & Jumaat, M.Z. & EiShafie, A.H. (2011). Using feed-forward back propagation (FFBP) neural networks for compressive strength prediction of lightweight concrete made with different percentage of scoria instead of sand. International Journal of Physical Sciences, 6(6), 1325-1331. – Access mode – <https://www.google.com/url?q=http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text->

#### Посилання на публікацію

- APA Honcharenko, T.A. (2016). Application technology of artificial neural networks for modeling land relief of construction site. Management of Development of Complex Systems, 29, 29, 116 – 120.
- ДСТУ Гончаренко, Т.А. Застосування технології штучних нейронних мереж для моделювання рельєфу будівельного майданчика [Текст] / Т.А.Гончаренко // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 29. – С. 116 – 120.