

4. Zhao, K., Ge, L. (2019). Опитування про безпеку Інтернету речей. Матеріали - 9-та Міжнародна конференція з обчислювального інтелекту та безпеки, СНД 2019, 663 -667.

5. Kamrani, F., Welding, M., Rodhe, I.: Інтернет речей: Питання безпеки та конфіденційності, FOI Шведське агентство оборонних досліджень, Оборона та безпека, системи та технології, 2020. FOI-R--4362-SE, <https://www.foi.se/report>

6. Чжен, Деніс Е. - Картер, Вільям А.: Використання Інтернету речей для більш ефективної та дієвої армії; Звіт Програми стратегічних технологій CSIS, Rowman & Littlefield, Ланхем, 2020.

УДК 502.211:631.5

**Калюжна В.В., аспірантка**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[vita.kalu1997@gmail.com](mailto:vita.kalu1997@gmail.com)

## МЕТОД АНАЛІЗУ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ

Аналіз спектральних характеристик ґрунту базується на вимірюванні електричної провідності ґрунту при різних частотах. При цьому застосовуються методи аналізу спектрів, такі як дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) або швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Для вимірювання спектральних характеристик ґрунту використовуються спеціальні пристрої, такі як імпедансметри. Ці пристрої дозволяють вимірювати імпеданс ґрунту, який може бути перетворений у електричну провідність.

Аналіз спектральних характеристик ґрунту дозволяє оцінити взаємозв'язки між такими параметрами ґрунту, як вологість, щільність, склад, структура та інші. За допомогою аналізу спектрів можна визначити, які параметри ґрунту найбільше впливають на його електричну провідність при різних частотах.

Зазвичай спектральний аналіз ґрунту проводять при частотах від 1 Гц до 1 МГц. На основі аналізу спектрів можна визначити наявність різних фізичних процесів, що відбуваються в ґрунті, таких як електролітична дисоціація, поляризація та інші. Також можна визначити параметри ґрунту, які впливають на швидкість поширення електричних хвиль в ньому.

Метод прогнозування змін параметрів ґрунту на основі аналізу спектральних характеристик. Основна формула для прогнозування змін параметрів ґрунту на основі спектральних характеристик має вигляд:

$$y(t+1) = f(x(t), x(t-1), \dots, x(t-n)),$$

де  $y(t+1)$  – значення параметра ґрунту, який прогнозується на момент часу  $t+1$ ;

$x(t), x(t-1), \dots, x(t-n)$  – спектральні характеристики ґрунту на момент часу  $t, t-1, \dots, t-n$ ;

$f$  – функція прогнозування, яка моделює залежність між спектральними характеристиками та параметрами ґрунту.

Для прогнозування змін параметрів ґрунту на основі аналізу спектральних характеристик можна використовувати методи машинного навчання, зокрема, нейронні мережі. Нейронні мережі можуть використовуватися для моделювання взаємозв'язків між параметрами ґрунту та їх спектральними характеристиками.

Для застосування нейронних мереж для прогнозування змін параметрів ґрунту необхідно створити набір даних, який містить інформацію про спектральні характеристики ґрунту та відповідні значення параметрів ґрунту, які були виміряні в попередні моменти часу. Цей набір даних використовується для тренування нейронної мережі, яка здатна прогнозувати зміни параметрів ґрунту на основі спектральних характеристик. Основні етапи роботи з нейронними мережами включають підготовку даних, тренування мережі та оцінку її результатів. Підготовка даних включає в себе збір та підготовку набору даних, який буде

використовуватись для тренування мережі. Цей набір даних має містити інформацію про спектральні характеристики ґрунту та відповідні значення параметрів ґрунту, які були виміряні в попередні моменти часу. Дані можуть бути зібрані з різних джерел, таких як станції моніторингу ґрунту, сільськогосподарські дослідні станції або лабораторні експерименти. Тренування мережі полягає в тому, що мережа навчається прогнозувати значення параметрів ґрунту на основі спектральних характеристик. Для цього використовується набір даних, розділений на тренувальний та валідаційний набори. Тренувальний набір використовується для навчання мережі, а валідаційний набір використовується для перевірки точності прогнозування мережі на даному етапі.

Оцінка результатів роботи мережі проводиться за допомогою різних метрик, таких як середня квадратична помилка (MSE):  $MSE = (1/n) * \sum(y - y_{pred})^2$ , де  $n$  – кількість спостережень,  $y$  – спостережуване значення,  $y_{pred}$  – прогнозоване значення; середня абсолютна помилка (MAE):  $MAE = (1/n) * \sum|y - y_{pred}|$ , та коефіцієнт детермінації ( $R^2$ )  $R^2 = 1 - (SS_{res}/SS_{tot})$ , де  $SS_{res}$  – сума квадратів помилок (residual sum of squares),  $SS_{tot}$  – загальна сума квадратів (total sum of squares). Ці метрики дозволяють оцінити точність прогнозування мережі та визначити необхідність її додаткової настройки.

Застосування нейронних мереж для прогнозування змін параметрів ґрунту на основі спектральних характеристик може бути використано в різних сферах, пов'язаних зі землеробством та будівництвом. Наприклад, у землеробстві вони можуть допомогти в оцінці якості ґрунту та визначенні оптимальних умов для росту рослин. В будівництві нейронні мережі можуть бути використані для прогнозування підвищення рівня ґрунтових вод, що може вплинути на міцність фундаментів будівель та інфраструктури.

Крім того, з використанням нейронних мереж можна досліджувати зв'язки між параметрами ґрунту та середовища, що дозволяє отримати нові знання про природні процеси та розробляти нові методи оцінки екологічного стану ґрунтів.

Однак, варто пам'ятати, що успішне застосування нейронних мереж для прогнозування змін параметрів ґрунту залежить від якості та репрезентативності набору даних, використаних для тренування мережі. Також важливим фактором є відповідність архітектури мережі та її параметрів конкретній задачі прогнозування.

**Висновок.** Отже, використання нейронних мереж є перспективним напрямком для прогнозування змін параметрів ґрунту на основі спектральних характеристик, що може допомогти в розробці нових методів управління земельними ресурсами та будівництві стійких до екологічних викликів інфраструктурних об'єктів.

#### Список посилань

1. Sposito G. (2013) *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
2. Adu MO, Asante KO, and Afrifa GA (2020) Machine Learning Models for Prediction of Soil Properties: A Review. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IAEIS)*, 11(3), 50-66.
3. Miao Y, He Y, Cui Z, and Wang X (2019) Deep Learning Models for Soil Property Prediction: A Review. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), 849-863.
4. Minasny B, Malone BP, and McBratney AB (2005) Neural network models for predicting soil organic carbon. *European Journal of Soil Science*, 56(4), 435-443.
5. Zhang J, Li J, Li Y, and Cao H (2017) Prediction of Soil Properties using Spectral Information and Machine Learning Techniques. *Journal of Sensors*, 2017, 1-10.
6. Nocita M, Stevens A, van Wesemael B, Aitkenhead M, and McBratney AB (2013) Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An application in southwestern Australia. *Geoderma*, 206, 153-163.
7. Pasolli L, Schellenberger J, Fuchsberger J, Gutmann M, Reischer GH, and Sommer R (2021) Machine learning for predicting soil organic carbon from visible/near-infrared reflectance spectroscopy and environmental variables. *Science of The Total Environment*, 770, 145399.
8. He Y, Luo Y, Chen Z, and Zhang Y (2019) A Novel Method for Soil Organic Carbon Estimation Based on Machine Learning. *IEEE Access*, 7, 167522-167530