

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ СТАНЦІЙ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Мала Ю. А.¹, Селівьорстова Т. В.²

¹Університет митної справи та фінансів, к.т.н, доцент, Україна

²Український державний університет науки та технологій, к.т.н, доцент, Україна

Анотація. У статті розглянуто актуальність розвитку сонячної енергетики в Україні в контексті кліматичних змін, енергетичної безпеки та повоєнного відновлення. Особливу увагу приділено задачі вибору оптимального місця розташування сонячних електростанцій (СЕС) з урахуванням природних, соціально-економічних та екологічних факторів. Для обґрунтування рішень запропоновано використання методів багатокритеріального аналізу — АНР та TOPSIS. Проведено порівняння зазначених методів щодо їх доцільності застосування в задачах просторового планування. Визначено, що метод TOPSIS є ефективним при великій кількості альтернатив і наявності кількісних даних, тоді як АНР доцільний на етапі формування структури критеріїв. Також представлено сучасні інструменти для програмної реалізації обраних методів у середовищі Python, що дозволяють автоматизувати аналіз і візуалізацію результатів для ухвалення зважених рішень у сфері сталого розвитку енергетики.

Ключові слова: метод аналітичної ієрархії, метод TOPSIS, сонячна енергетика, місце розташування СЕС, бібліотеки Python.

В умовах глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, енергетичною безпекою та необхідністю скорочення викидів парникових газів, використання відновлюваних джерел енергії стало пріоритетом для більшості країн, зокрема і для України. Сонячна енергетика, як один із найдинамічніших сегментів відновлюваної енергетики, відіграє ключову роль у процесі зменшення викидів парникових газів і перехід до більш екологічно чистих джерел енергії та сталих практик, задля зменшення впливу антропогенної діяльності на зміну клімату енергосистеми. Україна має значний потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки сприятливим кліматичним умовам, зокрема високому рівню річної інсоляції у південних і центральних регіонах.

Однак, ефективне впровадження сонячної енергетики потребує стратегічного підходу до вибору місць розташування станцій. При цьому слід враховувати не лише природні фактори (інсоляцію, рельєф, наявність вільних

земель), а й соціально-економічні аспекти — близькість до енергетичної інфраструктури, доступ до транспортних шляхів, щільність населення, вплив на довкілля. Тому для прийняття зважених рішень у таких умовах доцільно застосовувати методи багатокритеріального прийняття рішень, які дозволяють об'єктивно оцінити та зіставити альтернативи з урахуванням різнотипових критеріїв.

Актуальність дослідження зростає і в контексті повоєнного відновлення України. Розвиток децентралізованої сонячної енергетики може забезпечити енергетичну незалежність громад, особливо у прифронтових та сільських регіонах, зменшити навантаження на центральну енергосистему та сприяти соціально-економічному зростанню регіонів. Вибір оптимального розташування станцій на основі методів багатокритеріального аналізу дозволить ефективно розпоряджатися ресурсами та формувати сталу енергетичну політику [1].

Вибір місця розташування сонячних електростанцій (СЕС) є критично важливою задачею в контексті сталого розвитку енергетики України. У світлі зростаючого попиту на чисту енергію, зменшення залежності від імпортованих джерел палива, а також урахування кліматичних зобов'язань, розвиток відновлюваної енергетики набуває стратегічного значення [2]. З огляду на географічні, економічні та соціальні особливості України, розміщення СЕС потребує глибокого аналізу великої кількості факторів — від рівня інсоляції до наявності інфраструктури та екологічної безпеки [3].

Невдалий вибір ділянки може призвести до зниження продуктивності електростанції, ускладнень у підключенні до мережі, юридичних конфліктів або незапланованих витрат. У свою чергу, врахування багатокритеріальних чинників дозволяє підвищити стійкість та ефективність реалізації проєктів, особливо в умовах територіальної неоднорідності України [3].

До ключових параметрів, які доцільно враховувати під час вибору місця розташування СЕС, відносять:

- Кліматичні умови (інсоляція, середньорічна температура, кількість похмурих днів);
- Відстань до електромережі (мінімізація витрат на підключення);

- Наявність транспортної інфраструктури (доступність ділянки для будівельних робіт);
- Вартість та правовий статус землі (землі енергетичного, промислового або сільськогосподарського призначення);
- Геотехнічні характеристики (рельєф, ризики ерозії, підтоплення);
- Екологічні обмеження (наявність природоохоронних територій);
- Соціальні фактори (ставлення місцевих громад, ризик протестів або конфліктів).

Багатокритеріальні методи прийняття рішень дозволяють оцінювати декілька альтернатив одночасно за багатьма критеріями з різною вагомістю. У задачі вибору місця для СЕС такі методи є незамінними, оскільки дають змогу системно враховувати фактори різної природи: від кількісних (інсоляція, відстань до ЛЕП) до якісних (підтримка населення, екологічна безпека).

Серед найпоширеніших методів багатокритеріального прийняття рішень є:

- АНР (Analytic Hierarchy Process, метод аналітичної ієрархії) — базується на попарному порівнянні критеріїв та альтернатив і побудові ієрархічної структури задачі.
- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, Техніка впорядкування переваг за подібністю до ідеального рішення) — дозволяє обчислити відстань кожної альтернативи до умовно найкращого та найгіршого варіанта.

Метод АНР, запропонований Т. Сааті [4, 5], дозволяє структурувати проблему у вигляді ієрархії та здійснювати парні порівняння між критеріями й альтернативами. Це особливо корисно на етапах формування критеріїв або коли ваги критеріїв повинні визначатися експертним шляхом. АНР забезпечує високий рівень пояснюваності результатів, а також дозволяє перевірити узгодженість суджень експертів. Однак, при великій кількості альтернатив (наприклад, десятках географічних локацій) метод потребує значного обсягу обчислень та є менш зручним [4].

Метод TOPSIS, розроблений Хвангом і Юном [3, 5], орієнтований на оцінювання альтернативи відносно найкращої та найгіршої з прийнятих точок. Цей метод дозволяє ефективно працювати з даним в реальному часі,

включаючи дані супутникового моніторингу (наприклад, дані щодо сонячної інсоляції чи відстані до підстанцій). У практичних кейсах з великою кількістю альтернатив метод TOPSIS демонструє вищу продуктивність і простоту реалізації, що підтверджується сучасними дослідженнями у сфері GIS-аналізу розміщення СЕС [3, 7, 8].

Таким чином, у випадках, коли головною метою є ефективне ранжування великої кількості потенційних локацій на основі доступних кількісних показників, метод TOPSIS є більш ефективним для практичного застосування. Натомість АНР доцільно використовувати на попередніх етапах, для побудови структури критеріїв та визначення їхніх ваг.

У процесі розв'язання задачі вибору оптимального місця розташування станцій сонячної енергетики особливу роль відіграє програмна реалізація методів багатокритеріального прийняття рішень. Для цього у середовищі Python існує низка ефективних інструментів і бібліотек, що дають змогу зменшити обсяг рутинної обробки даних і зосередитися на аналітичному аспекті задачі.

Для реалізації методу АНР існують такі інструменти: бібліотека Python *АНРу*, яка дозволяє будувати ієрархічні моделі, розраховувати ваги критеріїв, а також перевіряти індекс узгодженості (Consistency Ratio) також використовують бібліотеку *pyahp*, мова програмування R, Excel, пакет MATLAB [6].

Метод TOPSIS можна реалізовувати за допомогою таких інструментів: бібліотека Python *Scikit-Criteria* або *topsispy*, мова програмування R, пакет MATLAB [6].

Використовуючі мову програмування Python і відповідні бібліотеки для реалізації методів завдяки відкритості коду та інтеграції з бібліотеками візуалізації (*matplotlib*, *seaborn*, *plotly*), а також можливості обробки великих наборів геопросторових даних (у зв'язці з *geopandas*), ці бібліотеки дають змогу реалізовувати складні моделі вибору місця для СЕС, поєднуючи експертні оцінки та просторову інформацію [3]. Таким чином, використання спеціальних бібліотек Python дозволяє не лише забезпечити математичну обґрунтованість

прийняття рішень, а й вивести результати у вигляді наочних графіків, інтерактивних карт або рейтингових таблиць, що є критично важливим для планування розташування об'єктів альтернативної енергетики.

Висновки. При прийнятті рішення щодо вибору місця розташування станцій сонячної енергетики в Україні, де необхідно враховувати як кількісні показники (вартість, потенціал сонячного випромінювання, відстань до інфраструктури), так і якісні експертні оцінки (соціальний вплив, екологічні ризики), метод TOPSIS є найбільш збалансованим варіантом. Він поєднує простоту реалізації, можливість врахування кількісних даних, а також добре масштабується для великої кількості альтернатив. Метод АНР доцільно використовувати на етапі формування ієрархії критеріїв або коли доступна невелика кількість альтернатив і важливі суб'єктивні експертні оцінки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Doronina I., Galleguillos-Torres M., Doronin V., Grêt-Regamey A. GIS-based Analysis for Identifying Priority Regions and Developing Renewable Energy in Post-war Ukraine. *Renewable Energy*. 2025. Vol. 247. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122970>.
2. Cahill Ben, Dawes Allegra. *Developing Renewable Energy in Ukraine*. Center for Strategic and International Studies (CSIS). 2022. <https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine>. (дата звернення: 10.04.2025).
3. Drozd Sofiia, Kussul Nataliia. Solar energy potential mapping in Ukraine through integration of GIS, remote sensing, and fuzzy logic. *European journal of remote sensing*. 2024. Vol. 57, no. 1. <https://doi.org/10.1080/22797254.2024.2362390>
4. Saaty T.L. *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. *Int. J. Services Sciences*, 2008. Vol. 1(1). pp. 83–98.
5. Dimitra G. Vagona. Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece. *Energies*. 2021. Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/en14248371>
6. Azhar N. A., Radzi N. A. M., Wan Ahmad W. S. H. M..Multi-Criteria Decision Making: A Systematic Review. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*. 2021. Vol. 14. pp. 779-801. <https://doi.org/10.2174/2352096514666211029112443>
7. Kengpol A., Rontlaong P., Tuominen M. A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2013. Vol. 6. pp. 470-481. <http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2013.69057>
8. Hassan Imad, Alhamrouni Ibrahim, Azhan Nurul Hanis. A CRITIC–TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Approach for Optimum Site Selection for Solar PV Farm. *Energies*. 2023. Vol. 16. <http://dx.doi.org/10.3390/en16104245>.

APPLICATION OF DECISION-MAKING METHODS FOR SITUATION OF SOLAR POWER STATIONS IN UKRAINE

Yuliia Mala, Tatyana Selivorstova

Abstract. *The article considers the relevance of solar energy development in Ukraine in the context of climate change, energy security and post-war recovery. Particular attention is paid to the task of choosing the optimal location of solar power plants (SPP), taking into account natural, socio-economic and environmental factors. To substantiate the decisions, the use of multicriteria analysis methods - AHP and TOPSIS - is proposed. A comparison of these methods has been carried out in terms of their feasibility in spatial planning tasks. It has been determined that the TOPSIS method is effective when there are a large number of alternatives and quantitative data, while the AHP is appropriate at the stage of forming the structure of criteria. The article also presents modern tools for the software implementation of the selected methods in the Python environment, which allow automating the analysis and visualisation of results for making informed decisions in the field of sustainable energy development.*

Keywords: *analytical hierarchy method, TOPSIS method, solar energy, location of SPP, Python libraries.*

REFERENCE

1. Doronina I., Galleguillos-Torres M., Doronin V., Grêt-Regamey A. GIS-based Analysis for Identifying Priority Regions and Developing Renewable Energy in Post-war Ukraine. *Renewable Energy*. 2025. Vol. 247. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122970>.
2. Cahill Ben, Dawes Allegra. *Developing Renewable Energy in Ukraine*. Center for Strategic and International Studies (CSIS). 2022. <https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine>. (дата звернення: 10.04.2025).
3. Drozd Sofiia, Kussul Nataliia. Solar energy potential mapping in Ukraine through integration of GIS, remote sensing, and fuzzy logic. *European journal of remote sensing*. 2024. Vol. 57, no. 1. <https://doi.org/10.1080/22797254.2024.2362390>
4. Saaty T.L. *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. *Int. J. Services Sciences*, 2008. Vol. 1(1). pp. 83–98.
5. Dimitra G. Vagiona. Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece. *Energies*. 2021. Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/en14248371>
6. Azhar N. A., Radzi N. A. M., Wan Ahmad W. S. H. M..Multi-Criteria Decision Making: A Systematic Review. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*. 2021. Vol. 14. pp. 779-801. <https://doi.org/10.2174/2352096514666211029112443>
7. Kengpol A., Rontlaong P., Tuominen M. A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2013. Vol. 6. pp. 470-481. <http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2013.69057>
8. Hassan Imad, Alhamrouni Ibrahim, Azhan Nurul Hanis. A CRITIC–TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Approach for Optimum Site Selection for Solar PV Farm. *Energies*. 2023. Vol. 16. <http://dx.doi.org/10.3390/en16104245>.